



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Pedro Tenório da Rocha Holanda Libório

**Efeito da pressão e temperatura do processo industrial de peletização na  
qualidade de rações de frango**

Florianópolis  
2023



Pedro Tenório da Rocha Holanda Libório

**Efeito da pressão e temperatura do processo industrial de peletização na  
qualidade de rações de frango**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi  
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano José de Andrade

Florianópolis  
2023

Libório, Pedro Tenório de Holanda Rocha

Efeito da pressão e temperatura do processo industrial de peletização na qualidade de rações de frango / Pedro Tenório de Holanda Rocha Libório ; orientador, Bruno Augusto Mattar Carciofi, coorientador, Cristiano José Andrade, 2023.

70 p.

2. Engenharia de Alimentos. 3. Processo Industrial. 4. Peletização. 5. Rações de frango. I. Carciofi, Bruno Augusto Mattar. II. Andrade, Cristiano José. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Pedro Tenório da Rocha Holanda Libório

**Efeito da pressão e temperatura do processo industrial de peletização na  
qualidade de rações de frango**

O presente trabalho em nível de Mestre foi avaliado e aprovado, em 02 de junho de 2023,  
pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Bruno Augusto Mattar Carciofi, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Suzana Pedroza da Silva, Dr.(a)  
Instituição Universidade Federal do Agreste de Pernambuco

Prof. André Wüst Zibetti, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado  
adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof. Bruno Augusto Mattar Carciofi, Dr.  
Orientador

Florianópolis, 2023.



Dedico este trabalho aos meus pais  
que nunca mediram esforços para  
me auxiliar nos sonhos que almejo.





## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, por todo incentivo e dedicação ao longo da minha vida.

A Carol por toda confiança, ajuda e companhia prestada durante este desafio. Sem ela essa jornada teria sido muito mais difícil.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi pela constante ajuda e orientação durante todo o período do mestrado.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Cristiano José de Andrade por ter aceitado o desafio de orientação e pelo suporte prestado.

A Dra. Mariane Wolf por todo o suporte prestado durante a realização das análises na UFSC.

Ao doutorando João Pedro por toda orientação e suporte prestado durante o mestrado.

A Marcelo e Evandro pela parceria e apoio que me ofereceram na realização dos experimentos.

Ao doutorando Marcelo e a Profa. Dra. Suzana Pedroza pelo auxílio durante a realização de análises na UFAPE.

A todos os docentes, profissionais e amigos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação e sempre torceram por mim. Tenho certeza que sem esse auxílio não conseguiria chegar até aqui.



*“Sem disciplina, o talento não serve pra nada.”*

(Cristiano Ronaldo)



## RESUMO

A peletização é um processo térmico utilizado no processamento de rações na indústria avícola, proporcionando benefícios relacionados à qualidade nutricional e a estrutura física dos peletes e, conseqüentemente, beneficia a produtividade de frangos de corte. O presente estudo avaliou a influência da temperatura (70 °C ou 76 °C) e da pressão (1 bar ou 2 bar) utilizados no processo de peletização de rações com diferentes formulações destinadas à frangos de corte. As formulações testadas possuíam variações nos percentuais de milho, farelo de soja, farinha de carne e óleo de soja. A qualidade da ração foi avaliada pelo índice de durabilidade de pelete (PDI), umidade da ração farelada após passar pelo condicionador, umidade da ração peletizada, dureza do pelete, percentual de finos, atividade de água ( $a_w$ ) da ração farelada após passar pelo condicionador e da ração peletizada, solubilidade proteica e entalpia de gelatinização do amido. Os valores de umidade, PDI, dureza do pelete e percentual de finos apresentaram efeito linear ( $p < 0,10$ ) com o aumento da temperatura. Foi observado um maior valor da  $a_w$  da ração peletizada com o aumento da pressão e temperatura apenas na ração processada com o maior percentual de óleo (3,7%). A solubilidade proteica não apresentou diferenças significativas e o amido presente nas amostras foi completamente gelatinizado em todos os tratamentos analisados para todas as formulações estudadas. Assim, demonstra-se que o tempo de processo na peletização de cerca 1 minuto é suficiente para a completa gelatinização do amido presente, mesmo nas condições mais brandas avaliadas. O aumento da temperatura de condicionamento influenciou positivamente propriedades importantes para a determinação da qualidade do pelete enquanto a variação na pressão não influenciou. A análise destes resultados indica que o controle da temperatura de condicionamento durante o processo de peletização de rações destinadas à frangos de corte é fundamental para garantir a qualidade das mesmas, pois maior temperatura melhorou o índice de PDI, que comprovadamente proporcionam melhor absorção de nutrientes, maior consumo de ração e ganho de peso, levando a melhora na conversão alimentar pelas aves, o que proporciona maior produtividade para o criador e eficiência no uso da ração.

**Palavras-chave:** amido; gelatinização amido; pelete; proteína; solubilidade proteica.



## ABSTRACT

Pelleting is a thermal process used in feed processing in the poultry industry, providing benefits related to the nutritional quality and physical structure of the pellets and, consequently, benefits the productivity of broilers. The present study evaluated the influence of temperature (70 °C or 76 °C) and pressure (1 bar or 2 bar) used in the feed pelleting process with different formulations intended for broiler chickens. The tested formulations had variations in the percentages of corn, soybean meal, meat meal and soybean oil. The quality of the feed was evaluated by the pellet durability index (PDI), moisture in the mash feed after passing through the conditioner, moisture in the pelleted feed, pellet hardness, percentage of fines, water activity ( $a_w$ ) of the mash feed after passing through the conditioner and pelleted feed, protein solubility and starch gelatinization enthalpy. The values of moisture, PDI, pellet hardness and percentage of fines showed a linear effect ( $p < 0.10$ ) with increasing temperature. A slight increase in the  $a_w$  of the pelleted feed proportional to the increase in pressure and temperature was observed only in the feed processed with the highest percentage of oil (3.7%), formulation 3. For the other formulations there was no significant difference for the different treatments. Protein solubility did not show significant differences and the starch present in the samples was completely gelatinized in all analyzed treatments for all studied formulations. Thus, it is demonstrated that the pelletizing process time (about 1 minute) is sufficient for the complete gelatinization of the present starch, even under the mildest temperature and pressure conditions. The increase in conditioning temperature positively influenced important properties for determining the quality of the pellet, while the variation in pressure was not as influential. The analysis of these results indicates that conditioning temperature control during the pelleting process of feed intended for broilers can lead to improvements in important factors in broiler breeding, such as an increase in the PDI index and a reduction in the percentage of fines, which are proven to provide better absorption of nutrients, higher feed intake and weight gain, leading to an improvement in feed conversion by the birds, which provides greater productivity for the breeder.

**Keywords:** pellet; protein; protein solubility; starch; starch gelatinization.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de produção de ração de frango de corte peletizada.	20
Figura 2. Modificações nos componentes da ração peletizada – gelatinização do amido.....	29
Figura 3. Modificações nos componentes da ração peletizada – desnaturação proteica. ....	30
Figura 4. Moinho de martelos utilizado no processo: (a) vista externa; (b) vista interna. ....	34
Figura 5. Visão interna do misturador.....	35
Figura 6. Condicionador Andritz CM: (a) vista externa; (b) vista interna.....	35
Figura 7. Peletizadora Andritz FeedMax G7-25: (a) vista externa; (b) vista interna. ....	35
Figura 8. Equipamento utilizado para análise de PDI e percentual de finos: (a) vista frontal; (b) vista lateral.....	38
Figura 9. Percentual de finos das rações de frango de corte utilizando: (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3 condicionadas em diferentes temperaturas e pressões.....	41
Figura 10; PDI das rações de frango de corte utilizando: (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3 condicionadas em diferentes temperaturas e pressões.....	42
Figura 11. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 1.....	43
Figura 12. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 2.....	44
Figura 13. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 3.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulação das rações analisadas. ....	37
Tabela 2. Influência da temperatura de condicionamento e pressão de condicionamento nos parâmetros de umidade, atividade de água, PDI, percentual de finos, solubilidade proteica e dureza. ....	37
Tabela 3. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 1.....	47
Tabela 4. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 2.....	47
Tabela 5. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 3.....	48



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>a<sub>w</sub></i>	Atividade de água
DC	Amostra farelada após passar pelo condicionador e antes de ser peletizada
pel	Amostra de ração peletizada
DGM	Diâmetro geométrico médio
GP	Ganho de peso
Ki	Constante entre 0 e 6
LABCAL	Laboratório de Análises do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos
LABTESC	Laboratório de Termodinâmica e Tecnologia Supercrítica
mf	Massa final
mi	Massa inicial
P	Pressão
PDI	Índice de durabilidade de peletes
R	Porcentagem de ração retida

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>18</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
2.1	PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE.....	18
2.2	PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES.....	19
2.3	FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DO PELETE.....	22
2.3.1	<b>Tamanho de Partícula</b> .....	<b>22</b>
2.3.2	<b>Inclusão de Lipídeos</b> .....	<b>23</b>
2.3.3	<b>Processamento Térmico</b> .....	<b>24</b>
2.4	ÍNDICE DE DURABILIDADE DE PELETES E PERCENTUAL DE FINOS.....	26
2.5	EFEITO DA PELETIZAÇÃO SOBRE A COMPOSIÇÃO DA RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE.....	27
2.5.1	<b>Gelatinização do amido</b> .....	<b>28</b>
2.5.2	<b>Digestibilidade proteica</b> .....	<b>30</b>
2.6	ALTERAÇÕES DO CONDICIONAMENTO SOBRE A QUALIDADE DO PELETE.....	31
2.7	EFEITOS DOS PELETES NO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE.....	32
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
3.1	FORMULAÇÕES.....	33
3.2	ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS.....	37
3.2.1	<b>PDI e finos</b> .....	<b>37</b>
3.2.2	<b>Umidade e cinzas</b> .....	<b>38</b>
3.2.3	<b>Lipídeos e proteínas</b> .....	<b>39</b>
3.2.4	<b>Granulometria</b> .....	<b>39</b>
3.2.5	<b>Dureza</b> .....	<b>39</b>
3.2.6	<b>Atividade de água (aw)</b> .....	<b>40</b>
3.2.7	<b>Solubilidade proteica</b> .....	<b>40</b>
3.2.8	<b>Calorimetria diferencial de varredura (DSC)</b> .....	<b>40</b>
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICA.....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>41</b>

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## DIAGRAMA CONCEITUAL

### Efeitos da pressão e temperatura de condicionamento no processo de peletização de rações destinadas à frangos de corte

#### O quê?

Avaliar os efeitos da temperatura e pressão do processo de peletização na qualidade de rações destinadas à alimentação de frangos de corte.

#### Por quê?

Buscando-se garantir e melhorar a qualidade da ração, é preciso identificar os efeitos que a pressão e a temperatura de condicionamento durante o processo de peletização causam nas propriedades importantes à produção dos frangos de corte.

#### O que já existe?

Índices zootécnicos mostram a influência de parâmetros de processo, como temperatura, tempo e pressão de condicionamento do pelete, no resultado do desenvolvimento de frangos de corte. Em especial, foi demonstrado que um processo que leva a maiores valores do índice de durabilidade de peletes (PDI) e menor percentual de finos favorece o desenvolvimento de frangos de corte. Estudos também demonstram que há influência do tempo de condicionamento no PDI de rações peletizadas.

#### Hipóteses da pesquisa

As variáveis de condicionamento pressão e temperatura influenciam a qualidade da ração peletizada que é indicada pelos índices PDI, o percentual de finos, grau de gelatinização do amido e a solubilidade proteica.

#### Resultados esperados

Estabelecer se há correlação estatística entre os valores da pressão e da temperatura de condicionamento durante o processo de peletização de diferentes formulações de rações destinadas à frangos de corte com os valores de PDI, percentual de finos,  $a_w$ , umidade, grau de gelatinização do amido e índice de solubilidade proteica das rações.





## 1 INTRODUÇÃO

Segundo os dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) para produção Pecuária, no 4º trimestre de 2021, foram abatidas 1,54 bilhão de cabeças de frangos, representando queda de 1,0% em relação ao mesmo período de 2020 e aumento de 0,5% na comparação com o 3º trimestre de 2021. Desta forma, este se tornou o segundo melhor 4º trimestre para o setor desde 1997 e contou com o melhor resultado já visto para mês de novembro. O volume trimestral das exportações de carne de frango in natura permaneceu em patamares acima de 1 milhão de toneladas, contribuindo para o resultado de abate (IBGE, 2022).

No Brasil, entre janeiro e julho de 2021 foram produzidas 39 milhões de toneladas de rações, sendo 22 milhões de toneladas de rações para aves. O Sindicato Nacional da Alimentação Animal estimou um crescimento de 5,2% em comparação ao mesmo período no ano anterior, com produção de 37,1 milhões de toneladas de ração (SINDIRAÇÕES, 2021).

Para suprir a alta produção de proteína animal, a produção de rações segue as regras de um mercado competitivo que exige a contínua redução de custos sem comprometer a qualidade do produto final. De acordo com a federação internacional das indústrias de ração (IFIF, 2020), o Brasil é o quarto maior produtor mundial de rações, superado apenas por China, Estados Unidos e União Europeia. Os quatro países são responsáveis por cerca de 59% da produção mundial de rações (IFIF, 2020).

As rações para frangos de corte são comercializadas em diversas formas físicas, como granuladas, peletizadas e fareladas. O processo de fabricação e a forma física da ração podem interferir no desempenho dos animais, por exemplo, ao permitirem um maior consumo de ração e absorção de seus micronutrientes (MURAMATSU, 2013). O processo de produção da ração também poderá definir sua viabilidade no que se refere aos custos com alimentação dos frangos de corte. A peletização gera um gasto maior para a indústria tanto com energia como com investimento para a compra de equipamentos, porém, a depender da eficiência e quantidade produzida há um retorno maior do que os investimentos necessários para sua produção (SCHROEDER, ANDRETTA e KIPPER, 2020).

Neste contexto, as rações para frangos de corte e suínos que mais se destacam são as fareladas e peletizadas. A peletização pode aumentar o custo da

ração por ser um processo que exige grande demanda de energia e de capital. Porém, o uso de rações peletizadas tem aumentado ao longo dos anos visto o significativo aperfeiçoamento no desempenho de produção dos animais (MURAMATSU, 2013).

A peletização das rações garante vantagens de desempenho ao frango como o maior ganho de massa devido ao maior consumo de ração proveniente da melhora na palatabilidade da ração e a facilidade de seu consumo pelo frango, o que leva à menor movimentação e menor tempo gasto com alimentação. Há também uma maior digestibilidade dos nutrientes presente na ração pela ave, o que melhora no aproveitamento da energia (LARA et al., 2008).

O processo de peletização consiste basicamente na agregação de partículas provenientes da moagem de rações na forma de farelo e possui as etapas de condicionamento, peletização e resfriamento. A literatura relaciona o processo de peletização à diversas vantagens nutricionais e produtivas em frangos de corte. Durante a peletização ocorre também a desnaturação de proteínas e a gelatinização do amido afetando as propriedades ligantes das partículas e os valores nutricionais. Ambos influenciam diretamente na durabilidade dos peletes e no desempenho das aves (ABDOLLAHI et al., 2010; JAFARNEJAD et al., 2010).

O vapor utilizado durante o condicionamento rompe a estrutura do amido causando a sua gelatinização e alteração na estrutura proteica. A gelatinização do amido é importante por formar ligações entre as partículas e influenciar diretamente na durabilidade dos peletes. A literatura mostra que o aumento da umidade e temperatura de condicionamento tende a levar a um aumento no grau de gelatinização do amido (LEWIS, 2015; MORITZ, 2001). Scott et al. (1997) relataram que a digestibilidade da proteína em frangos de corte pode ser influenciada pela temperatura e pressão utilizada no processo de rações peletizadas

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi determinar a influência da combinação pressão e temperatura de condicionamento da formação de peletes nos parâmetros de qualidade de diferentes formulações de rações de frango de corte, tais como índice

de durabilidade do pelete (PDI), solubilidade proteica e grau de gelatinização do amido.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar a influência de variações de temperatura de condicionamento (70 e 76°C) e pressão de vapor (1 e 2 bar) durante o processo de condicionamento no PDI, dureza do pelete, percentual de finos, umidade,  $a_w$ , entalpia de gelatinização de amido e índice de solubilidade proteica de diferentes fórmulas de rações destinadas à frangos de corte.
- Realizar avaliação de modelo estatístico de correlação para a influência da pressão e temperatura de condicionamento para cada parâmetro de qualidade da ração.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PRODUÇÃO DE FRANGO DE CORTE

Segundo os dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE) para produção Pecuária, no 4º trimestre de 2021, foram abatidas 1,54 bilhão de cabeças de frangos, representando queda de 1,0% em relação ao mesmo período de 2020 e aumento de 0,5% na comparação com o 3º trimestre de 2021. Desta forma, este se tornou o segundo melhor 4º trimestre para o setor desde 1997. O volume trimestral das exportações de carne de frango *in natura* permaneceu em patamares acima de 1 milhão de toneladas, contribuindo para o resultado de abate (IBGE, 2022).

O índice de crescimento é um fator crucial para a indústria de frangos de corte, cuja a qualidade da ração apresenta significativa e direta influência no mercado. Entre as diversas formas físicas, as rações podem ser comercializadas granuladas, peletizadas ou fareladas. Dentre os tipos de ração, os benefícios que o fornecimento de ração peletizada traz para o crescimento de frangos de corte são extensamente relatados na literatura científica.

Noble et al. (2005) avaliaram o efeito da ração farelada e da ração peletizada em frangos de corte entre 23 e 30 dias de idade. Os pesquisadores observaram

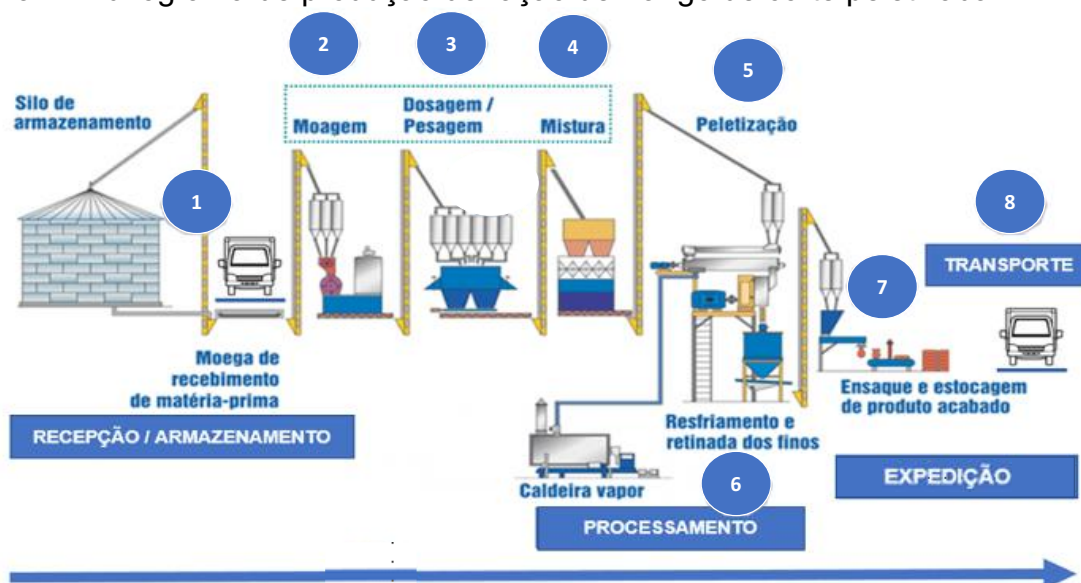
variações comportamentais nas aves, de acordo com a ração consumida. Nos boxes nos quais as aves receberam ração peletizada, uma média de 4,25 e 62,49% das aves passavam seu tempo de alojamento respectivamente ingerindo ração e em repouso, enquanto essas proporções foram de 18,82% das aves ingerindo ração e 47,36% das aves em repouso nos boxes com ração farelada. Em relação aos índices zootécnicos, a ração peletizada proporcionou consumo de ração 15,31% maior e ganho de massa de 23,30% maior, em relação à ração farelada. Desta forma a conclusão foi que rações peletizadas proporcionaram melhoria do ganho de peso, devido a menor demanda de energia com atividades físicas (repetição de movimentos associados a ingestão). O aumento no consumo de ração ocorre uma vez que o alimento granulado melhora a eficiência de apreensão do alimento pelo bico córneo da ave além de facilitar o processo de deglutição quando comparado a ração farelada (SCHROEDER, ANDRETTA e KIPPER, 2013).

As diferenças nos índices zootécnicos em aves alimentadas com ração farelada e peletizada também foram estudados por Abdollahi (2011). Este pesquisador avaliou o efeito da forma física das rações em frangos de corte alimentados durante sua fase inicial de vida e reportou incremento de 13,7% no consumo de ração e 10,3% no ganho de peso das aves que receberam ração peletizada comparada às aves alimentadas com ração farelada. Corzo et al. (2011) forneceram dietas a base de milho e farelo de soja para frangos de corte entre 14 a 42 dias com diferentes quantidades de peletes (0, 320 e 640 g/kg) e verificaram que o peso corporal passou de 2,354 kg para 2,557 kg.

## 2.2 PELETIZAÇÃO DE RAÇÕES

As principais etapas do processo de produção de rações peletizadas são: recepção e estocagem da matéria-prima, moagem, dosagem dos ingredientes, mistura, processamento (condicionamento, peletização, resfriamento), expedição/armazenamento e transporte. De forma geral, as etapas da produção de peletes pode ser esquematizada segundo a Figura 1.

Figura 1. Fluxograma de produção de ração de frango de corte peletizada



Fonte: Adaptado de Ferraz (2022)

Inicialmente os ingredientes selecionados para produção da ração são moídos e direcionados para os silos de dosagem que dosarão os ingredientes de acordo com a formulação desenvolvida para a ração. Dos silos de dosagem os ingredientes são transportados para um misturador onde haverá sua mistura e formação da ração farelada. A ração farelada passa então para o processo de peletização.

A peletização é definida como a aglomeração de partículas pequenas em partículas maiores por meio de um processo mecânico combinado com umidade, calor e pressão (FALK, 1985). O processo consiste em submeter a massa da ração farelada através de orifícios de um anel metálico de aço carbono ou inox tendo como resultado a formação de estruturas mais densas do que a ração farelada (ZIGGERS, 2003). Para isso, é necessário um conjunto peletizador, composto por uma rosca alimentadora, condicionador, retentor e prensa peletizadora.

A rosca alimentadora regula o volume de ração direcionada para o condicionador, atuando também como uma barreira para evitar o fluxo de vapor do condicionador para o silo da prensa. O tratamento térmico inicia no condicionador, onde o vapor saturado agrega umidade e calor a massa farelada de forma a atingir um estado físico favorável a compactação (SCHOROIJEN, 2005; FROETSCHNER, 2006; COLOVIC et al., 2010). A energia na forma de calor é crítica para facilitar a transferência uniforme de umidade ao interior das partículas de ração. Normalmente

ocorre aumento de 11 a 16 °C na temperatura da ração para cada 10 g/kg de umidade (FROETSCHNER, 2006). Quando a incorporação de umidade por meio de vapor é insuficiente para atingir a umidade ideal ao processo, pode haver inclusão adicional de água na forma líquida previamente no misturador ou mesmo no condicionador. Após o condicionador, é possível adicionar um retentor, que tem a função de aumentar o tempo de retenção da ração com finalidade de prolongar o tempo de exposição da ração farelada ao vapor. O retentor mantém a temperatura da ração próxima à do condicionador promovendo maior gelatinização do amido e redução da carga microbiológica (LARA, 2013).

Segundo Skoch et al. (1981), quando comparado com o condicionamento a frio (21 °C), o condicionamento a 65 e 78 °C é capaz de aumentar a taxa de produção de peletes em 250 e 275%, respectivamente. No estudo destes autores, as taxas de produção foram de 655, 1.636 e 1.800 kg/h para os tratamentos a seco, 65 e 78 °C, respectivamente. O índice de Durabilidade de Peletes (PDI) também é influenciada pela adição de vapor (90,6 e 93,8% em vapor condicionado a 65 e 78 °C, respectivamente, em comparação com o PDI de 69,5% no condicionamento a seco). Esse aumento de temperatura acaba ocorrendo devido à maior quantidade de vapor adicionado dentro do condicionador para alcançar a temperatura desejada, que conseqüentemente aumenta a umidade e melhora a fluidez. Assim, uma oferta adequada de vapor que agregue umidade no condicionador é imprescindível para que a peletização seja eficiente (CUTLIP et al., 2008).

Há duas peças principais que compõem a prensa peletizadora: a matriz da prensa e os rolos. No interior da prensa os defletores direcionam o fluxo da ração para os rolos que, por sua vez forçam a ração farelada pelos orifícios da matriz, formando os peletes. Para que a produção de ração na forma de peletes seja bem sucedida a força motriz do rolo precisa ser maior que a resistência oferecida pela matriz da prensa contra a passagem de ração. Essas forças opostas atuam nas áreas de compressão e extrusão da interface rolo-matriz, compactando a ração farelada até uma densidade próxima do pelete, e começa a fluir ração pelos furos da matriz da prensa. A transformação da energia mecânica do motor da prensa em fricção e pressão eleva a temperatura da ração dentro da matriz da prensa. Enquanto a massa passa pela matriz da prensa, o aumento na temperatura dessa massa não deve exceder 15 °C, caso contrário é indicativo de que parte da energia mecânica está sendo desperdiçada sob a forma de calor de fricção (KULIG & LASKOWSKI, 2008).

No caso do processamento térmico com o expander tipo “*annular gap*” a ração é direcionada para o interior de um cilindro oco após passar pelo condicionador ou elo retentor. Por meio de uma rosca sem fim, a massa é impulsionada de uma extremidade a outra do cilindro. Na extremidade, um cone metálico controlado hidráulicamente sela parcialmente a abertura. A ração é forçada pela rosca a passar por essa abertura limitada, criando pressão e uma força de atrito intensa que resulta na produção de calor. Uma vez vencida a pressão do cone, a massa alimentar sai do *expander* sofrendo uma redução drástica da pressão, ocasionando a evaporação espontânea e rápida de parte da umidade contida na massa de ração expandida. A temperatura na massa de ração pode atingir níveis altos (90 – 130 °C) na saída do *expander*, porém este processo é extremamente rápido, durando de 2 a 10 segundos. A massa farelada que sofrerá a expansão deve ter uma umidade entre 16 a 18% preferencialmente (SCHROEDER, ANDRETTA e KIPPER, 2013).

## 2.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DO PELETE

### 2.3.1 Tamanho de Partícula

Todo o processo de fabricação apresenta influência direta sobre a qualidade final dos peletes, desde a formulação, moagem, mistura, até o resfriamento e transporte. Entende-se como conhecimento geral que quanto mais fina a moagem dos ingredientes previamente a peletização, maior será a qualidade dos peletes, que, por sua vez, varia com o tamanho dos furos das peneiras do moinho de processamento. O uso de partículas menores no processo de peletização, obtidos por moagem, prensagem ou amassamento, melhora os índices zootécnicos do animal que o consome. Desta forma o controle do processo de moagem é importante na fábrica de rações. A redução no tamanho de partículas ocasiona um aumento da área superficial em relação ao volume da partícula, assim aumentando a área de contato entre as partículas. Como resultado, há aumento nas forças de adesão interatômicas (pontes de hidrogênio, forças de Van der Waals, dipolo-dipolo), potencialização da força de capilaridade entre as fases sólido-líquido do pelete e penetração de calor e umidade até o centro da partícula de ração com menor tempo de tratamento térmico (BEHNKE, 2001; SCHROEDER, 2019; ZANOTTO et al., 1999).

De acordo com Andrade (2016), a absorção e digestão dos nutrientes são favorecidos pela menor granulometria devido a maior ação enzimática proporcionada pel maior facilidade de contato das enzimas com os componentes nutricionais.

A granulometria é avaliada pelo diâmetro geométrico médio (DGM) medida em milímetros ou microns. Fatores como os diâmetros dos furos da peneira, a área de abertura da peneira, a potência do motor, o número e a distância entre os martelos do moinho, a vazão de moagem, percentual de umidade dos grãos e desgaste do moinho influenciam diretamente na granulometria final da ração farelada (ZANOTTO, 1999).

Segundo Klein (1999), a granulometria de rações de frango peletizadas deve ficar entre 500  $\mu\text{m}$  e 700  $\mu\text{m}$  para garantir uma boa superfície de contato durante a etapa de condicionamento. Muramatsu (2014) observou redução na quantidade de peletes intactos de 67,7% para 63,6% ao passar a granulometria da ração peletizada de 1041  $\mu\text{m}$  para 743  $\mu\text{m}$ .

Fahrenholz (2012) avaliou duas granulometrias diferentes na formulação das rações (298  $\mu\text{m}$  e 462  $\mu\text{m}$ ) submetidas ao condicionamento (a 65 °C e 85 °C) e seguidas pela peletização e não observaram diferenças na quantidade de peletes íntegros ou no PDI. Possivelmente a ausência de efeito da granulometria na qualidade de peletes observado neste trabalho deve-se ao fato que o diâmetro geométrico médio avaliado não ter sido suficiente para influenciar a qualidade dos peletes.

### **2.3.2 Inclusão de Lipídeos**

Os lipídeos compreendem a fração do alimento que é insolúvel em água, mas solúvel em solventes orgânicos, como o éter. É extraído ou retirado da ração, para ser medido, através de um solvente orgânico, o éter, por isso chamado de Extrato etéreo, ou seja, extraído pelo éter.

A adição de óleos e gorduras presente na dieta é capaz de prejudicar o PDI e a dureza do pelete final (Miranda, 2011). A gordura lubrifica o contato da ração com a parede dos furos da matriz, o que diminui a compactação da ração dentro da prensa, facilitando a passagem da ração pela matriz (FAHRENHOLZ, 2012). Além disso, a gordura, quando adicionada previamente ao condicionamento, leva a um encapsulamento parcial das partículas da ração dificultando a penetração do vapor e



umidade e, portanto, reduz a gelatinização do amido e as forças capilares de adesão (LOWE, 2005; FAHRENHOLZ, 2012; THOMAS, 1997).

A adição de gordura deve ser limitada a um máximo de 5 a 10 g/kg na formulação da ração a ser peletizada se o objetivo for a produção de ração com alto percentual de peletes íntegros (MURAMATSU, 2013). Moritz et al. (2002) avaliaram dois níveis de adição de óleo (30 e 65 g/kg) em rações para frangos de corte e observaram que o PDI caiu de 81,6 para 62,1% com o aumento da gordura adicionada. Ao elevar a inclusão de óleo de 2,9% para 7,5%.

Briggs (1999) obteve redução no PDI das rações produzidas de 88,8% para 59,6% respectivamente. Segundo Briggs, a qualidade do pelete não é comprometida quando a inclusão de óleo for menor que 5,6% para um conteúdo de proteína em torno de 20%. Já Muramatsu (2016) obteve redução da qualidade do pelete com a inclusão de níveis de gordura maiores do que 3,5%.

### **2.3.3 Processamento Térmico**

O condicionamento por processamento térmico é um dos fatores mais importantes para alcançar uma boa qualidade física da ração. A fim de otimizar o processo de condicionamento, um monitoramento entre calor e umidade deve ser executado. O vapor possibilita este controle por ser de fácil utilização e controle. O vapor utilizado durante o condicionamento altera as estruturas terciárias das proteínas e rompe a estrutura do amido, ocasionando sua gelatinização (NETTO, 2014). O desempenho da paletização pode ser prejudicado se a temperatura não for usada corretamente durante o condicionamento.

A umidade é um fator importante para a qualidade do pelete. Ela atua diretamente na aderência entre partículas do pelete. Essa capacidade aglutinante tem como base as propriedades de capilaridade e tensão superficial da água (FROETSCHNER, 2006). O grande percentual de umidade pode agir como substância lubrificante, reduzindo o atrito entre a ração e parede dos furos da matriz da prensa, causando um impacto negativo na durabilidade do pelete. Em paralelo, uma ração farelada com baixo percentual de umidade dificultará o processo de peletização e reduzirá a capacidade de aderência das partículas reduzindo então o PDI da ração peletizada (ZIGGERS, 2003; FAHRENHOLZ, 2012).

Segundo Robinson (1976), a umidade da ração logo após passar pela peletizadora varia entre 15% e 17% base úmida, enquanto a umidade após a ração passar pela etapa de resfriamento/secagem varia entre 10% e 12% base úmida. Em estudo realizado por Svihus (2004), a umidade da ração aumentou de 10,6% base umidade referente à ração farelada para 14,4% base úmida durante o processo de peletização.

Moritz et al. (2002) avaliaram o efeito do condicionamento sobre rações contendo 927 e 853 g/kg de matéria-seca e verificaram que foram alcançados, respectivamente, PDI de 56,5% e 82,2% que sugere o efeito benéfico do maior percentual de umidade sobre a qualidade de peletes. Fairfield (2003) aponta ainda que uma massa de ração com umidade base umidade de aproximada de 140 g/kg otimizou a operação da fábrica de ração e a durabilidade dos peletes.

O sistema de resfriamento é outro fator crucial para o processo. A temperatura nesta fase deve estar adequada para retirar a umidade adicional da ração, pois nesta etapa as condições são favoráveis para o desenvolvimento de microrganismos. Uma vez que haja falhas nesta etapa, ocorrerá redução da durabilidade do pelete, ou seja, quebras e perdas no processo final (SCHROEDER, 2019).

A dureza do pelete e, conseqüentemente, sua qualidade, está diretamente ligada à temperatura de peletização. A dureza é mensurada através da força necessária para destruir o pelete lateralmente (kgf) (FAIRFIELD, 1994). Alguns fatores são influentes na dureza do pelete. O tempo de retenção no condicionador, o percentual de umidade da ração, a temperatura de condicionamento e o percentual de gordura são exemplos de fatores que alteram o índice de dureza do pelete (FAHRENHOLZ, 2012). Nir et al. (1994) verificaram que em rações com peletes muito duros houve redução do ganho de peso e do consumo de ração dos frangos dos sete aos 42 dias de idade. Isto reduziu o benefício da peletização em relação aos peletes macios, sendo que estes apresentaram melhores resultados do que com a ração farelada.

Segundo Parsons et al. (2006), os frangos alimentados com ração peletizada tiveram maior retenção de nitrogênio e de lisina, maior ganho de peso, e melhor eficiência alimentar quando comparados com aqueles alimentados com rações fareladas. Estes resultados devem ser decorrentes dos mesmos mecanismos observados pelo aumento do tamanho da partícula de rações fareladas, ou seja,

preferência de consumo e redução no tempo de trânsito intestinal permitindo melhor absorção dos nutrientes pelas aves.

## 2.4 ÍNDICE DE DURABILIDADE DE PELETES E PERCENTUAL DE FINOS

O Índice de durabilidade de pelete (PDI) é um indicador que reflete o percentual de peletes que, após serem submetidos a forças mecânicas mantiveram a sua integridade. A metodologia Pfast é a mais utilizada e adequada para a determinação do PDI. Na aplicação desta metodologia, os peletes são submetidos a impactos sucessivos simulando o estresse mecânico encontrado no transporte por elevadores, roscas e redlers. São acondicionados 500 g de peletes íntegros em uma caixa que rotaciona a 50 rpm por 10 minutos, havendo alternância de fluxo constantemente e após os 10 minutos de rotação contínua (MURAMATSU, 2013). O material é peneirado para determinar o percentual de peletes retidos na peneira de 3,0 mm de diâmetro (LOWE, 2005). O teste Pfast determina a durabilidade do pelete submetendo os peletes a uma abrasão e cisalhamento entre os mesmos e contra a parede do equipamento e possui bom índice de repetibilidade (THOMAS & POEL, 1998).

Além do teste Pfast, há também o teste de Holmen, muito utilizado em fábricas de rações que empregam sistemas pneumáticos de transporte. Esse teste simula o estresse pelo qual o pelete é submetido quando transportado por via pneumática. Neste teste, uma amostra de 100 g de peletes íntegros é impulsionada através de um sistema de dutos, por meio de um fluxo de ar produzido por uma ventoinha. A fragmentação ocorre quando o material se choca com as paredes dos dutos quando estes formam os ângulos retos. Ao final de 0,5 a 2,0 minutos é determinada a quantidade de finos produzida durante a avaliação (LOWE, 2005). Segundo Fahrenholz (2012), observou que a metodologia Pfast é mais consistente e de maior repetibilidade que a metodologia Holmen, devido ao volume das amostras (100 versus 500 g) e simplicidade do teste rotativo menos sujeito aos erros de operação.

Na ração peletizada os finos representam a porção que está desagregada da sua forma inicial, formando partículas menores que os peletes, sendo formados em qualquer estágio da peletização, no transporte e no manuseio da ração na granja (Pucci, 2010).

## 2.5 EFEITO DA PELETIZAÇÃO SOBRE A COMPOSIÇÃO DA RAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE

Como descrito anteriormente o processo de peletização consiste basicamente na agregação de partículas provenientes de rações na forma de farelo e possui as seguintes etapas: condicionamento, peletização e resfriamento. O processo de forma geral submete os ingredientes a diferentes condições de temperatura, pressão e ação mecânica. Tais condições surtem influência na qualidade final da ração, por isso se faz necessário o uso de condições de processamento que potencializem os atributos nutricionais e tecnológicos. A literatura relaciona o processo de peletização à diversas vantagens nutricionais e produtivas em frangos de corte. Nesta perspectiva pode-se explorar o efeito que cada etapa do processo de paletização pode afetar sobre as propriedades físicas e composição da ração (ABDOLLAHI et al., 2010; CHEWNING; STARK; BRAKE, 2012).

Primeiramente, o condicionamento converte a ração farelada misturada com o uso de calor, umidade, pressão e tempo a um estado físico que facilite a compactação. Esta etapa aumenta a capacidade de produção e simultaneamente afeta a qualidade física, nutricional e higiênica da ração produzida. A adição de vapor faz parte do processo de condicionamento e seu objetivo é aumentar a umidade e o calor, aproveitando sua característica gasosa que permite uma distribuição mais homogênea pela ração (SCHROEDER, 2019). Durante a condensação do vapor, um filme de água é criado ao redor das partículas que, juntamente com o aumento da temperatura, facilita a agregação das partículas.

Além disso, alterações físicas e químicas como: desnaturação de proteínas e gelatinização do amido afetam propriedades ligantes das partículas e os valores nutricionais para a resposta de desempenho das aves. A pressão de vapor ideal no condicionamento para rações ricas em amido (50 a 80%) gira em torno de 102 kPa, com o objetivo de atingir 65 a 85 °C de temperatura. Tão importante quanto a pressão de vapor é a quantidade de vapor injetada. A adição de água facilita o processo de peletização (gelatinização, solubilização e desnaturação) e a adição de água via vapor melhora ainda mais o processo (ABDOLLAHI et al., 2010; JAFARNEJAD et al., 2010; SANTOS et al., 2020).

O condicionamento antes da peletização desempenha um papel importante na utilização dos nutrientes da dieta. A temperatura, umidade, pressão e tempo de

condicionamento de podem causar a quebra das cadeias de amilose e amilopectina, favorecendo a ação da enzima amilase, aumentando assim a digestibilidade dos carboidratos (SVIHUS et al, 2005). Esses fatores também podem alterar a estrutura das proteínas, aumentando sua digestibilidade. No entanto, alguns trabalhos sugerem que a ração peletizada pode causar baixa digestibilidade em algumas condições (BRIGGS et al, 1999; GILPIN et al, 2002). Além disso, o aumento dos tempos de condicionamento melhora a qualidade física do pelete.

Quando a temperatura de condicionamento com o tempo de retenção de condicionador de 10 segundos aumentou de 74 °C para 90 e 95 °C houve redução na digestibilidade de alguns aminoácidos em uma dieta à base de milho (LOAR et al., 2014). Contrariamente em seu trabalho Boltz et al. (2020) observaram melhorias na digestibilidade dos aminoácidos ao aumentar a temperatura de condicionamento de 75 para 90 °C quando condicionado por 30 segundos e de 75 para 80 °C quando condicionado por 60 segundos.

No processo de peletização a ração farelada condicionada é pressionada através da matriz da peletizadora. Este processo obtém peletes com grau de dureza suficiente para suportar as condições do transporte e manuseio com o menor custo possível em termos de consumo e gasto de energia. Os peletes geralmente saem da matriz com temperatura entre 60 a 95 °C e com umidade entre 12,5 a 17,5% (MURAMATSU, 2013).

A quantidade de umidade que é dissipada do pelete é função do fluxo e outras propriedades do ar, características do material processado e tamanho do pelete. Durante o resfriamento, os componentes solúveis da ração se recristalizam e contribuem para formar ligações entre as partículas. Com a redução da temperatura, a viscosidade de alguns componentes da ração irá aumentar contribuindo para manter a integridade do pelete (HUANG; CHRISTENSEN; YU, 2015; MASSUQUETTO, A. et al., 2018).

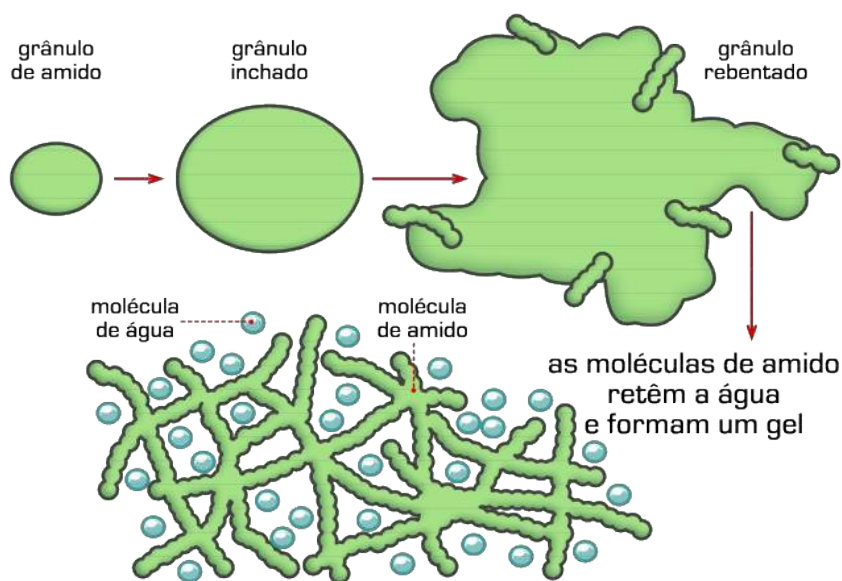
### **2.5.1 Gelatinização do amido**

O amido é um componente com maior presença nos cereais, entre cerca de 70% e 80%, sendo a maior fonte de energia presente nas dietas dos animais domésticos. O amido é um glucano composto por dois polissacáridos principais: amilose, que é essencialmente linear, e amilopectina, que é altamente ramificada (SVIHUS et al, 2005). A gelatinização do amido é considerada um processo

irreversível, no qual a água se difunde para dentro do grânulo de amido, levando a ruptura das pontes de hidrogênio presentes nas cadeias de amilose e amilopectina, aumento de tamanho do grânulo e extravasamento da amilose (MORITZ et al., 2003).

O processo de gelatinização do amido é favorecido pela presença dos seguintes fatores: umidade para enfraquecer e romper ligações existentes dentro do grânulo, calor que favorece a entrada de água e a solubilização da amilose, atrito que fornece a força necessária para o rompimento dos grânulos e tempo que potencializa o efeito dos três fatores anteriores. Assim que o grânulo de amido é exposto a temperatura e umidade (Condicionamento e Peletização) pode ocorrer um processo de gelatinização no qual sua efetividade depende do tempo de exposição do amido a estes fatores (THOMAS et al., 1997). A Figura 2 ilustra a gelatinização do amido.

Figura 2. Modificações nos componentes da ração peletizada – gelatinização do amido.



Fonte: Adaptado de Ford et al. (2002)

O processamento da ração pode afetar a disponibilidade do amido, alterando as propriedades do amido ou interagindo com outros componentes no alimento. Smith (1959) reporta que a peletização em temperaturas de 83 °C gera um aumento na gelatinização do amido em 47,5%. Sendo que esta melhora na gelatinização também provoca uma melhor digestão da ração pelo animal.

A gelatinização do amido depende da quantidade e qualidade vapor usado durante a etapa de condicionamento, da temperatura e do tempo de condicionamento.

Um grau mais elevado de gelatinização indica que existe potencial para aumentar a digestibilidade do amido, alterando os procedimentos de peletização (SVIHUS et al, 2005). Processamentos como expansão e de extrusão utilizam altas temperaturas e uma maior quantidade de água adicionada no processo, resultando em uma gelatinização e desintegração mais completa dos grânulos do amido (HUANG; CHRISTENSEN; YU, 2015; JAFARNEJAD et al., 2010; SANTOS, DOS et al., 2020).

### 2.5.2 Digestibilidade proteica

Proteínas são estruturas sensíveis ao calor. Em exposição ao calor a estrutura física da proteína muda, causando alterações nas suas propriedades nutricionais e funcionais. A desnaturação proteica pode ser definida como qualquer mudança na conformação da proteína que não envolva a quebra das ligações peptídicas (CAMIRE, 1990).

As proteínas sofrem desdobraimento estrutural quando exposta ao calor, umidade e forças de cisalhamento. Estes são os principais fatores que influenciam o processo de desnaturação proteica. Esse desdobraimento pode ser revertido se o processo termomecânico for interrompido antes que ocorre a agregação da cadeia proteica. Caso contrário, as interações não covalentes que contribuem para a estabilização tridimensional da estrutura são quebradas resultando na desnaturação irreversível da proteína (VORAGEN, 1995). A Figura 3 ilustra o processo de desnaturação proteica.

Figura 3. Modificações nos componentes da ração peletizada – desnaturação proteica.



Fonte: Adaptado de Ford et al. (2002)

Do ponto de vista nutricional, o tratamento térmico melhora a digestibilidade das proteínas devido a alteração na sua estrutura, permitindo que as proteases atuem mais facilmente (MORITZ, 2003; SANTOS, DOS et al., 2020). Scott et al. (1997) relataram que a digestibilidade da proteína em frangos de corte pode ser influenciada pela temperatura e pressão utilizada no processo de rações peletizadas, resultando em rompimentos das pontes dissulfeto na estrutura da proteína, causando alteração estrutural e aumento da ação das enzimas endógenas.

Como o processamento da ração envolve uma combinação de vapor, tempo de residência e cisalhamento, as proteínas expostas à peletização podem sofrer desnaturação irreversível da proteína ou à ligação de aminoácidos. O processo de aquecimento tende melhorar a digestibilidade das proteínas ao inativar os inibidores enzimáticos e desnaturar a proteína para aumentar exposição às enzimas digestivas. No entanto, uma combinação de alta temperatura, força de cisalhamento e umidade durante o processo leva à reação de Maillard. E isso diminui a disponibilidade e utilização desses nutrientes (PAHM et al., 2008).

A digestibilidade proteica da ração pode ser melhorada com variações no processamento. A influência da peletização na digestibilidade de proteínas em frangos de corte tem variado. A variação desta resposta pode ser atribuída a uma multiplicidade de fatores. No entanto, os parâmetros de peletização são um componente chave. Estudos mostram a temperatura para não impactar a digestibilidade e solubilidade das proteínas. Creswell e Bedford (2006) recomendam que temperaturas de peletização acima de 85 °C não devem ser empregadas a fim de evitar a formação de complexos proteína-amido, além de outras perdas nutricionais. Abdollahi (2011) avaliou três temperaturas de condicionamento (60, 75 e 90 °C) em rações baseadas em dois tipos de cereais (milho e trigo) e verificou efeito negativo da temperatura sobre a digestibilidade do nitrogênio somente em dietas a base de trigo.

## 2.6 ALTERAÇÕES DO CONDICIONAMENTO SOBRE A QUALIDADE DO PELETE

A gelatinização do amido e a desnaturação de proteínas são amplamente aceitas como interações termomecânicas que melhoram a qualidade do pelete. As



dietas típicas de frangos de corte contêm altas porcentagens de milho e farelo de soja e, portanto, altas proporções de amido e proteína. Sob condições de processamento usando calor e umidade, os amidos gelatinizam e ajudam a unir as partículas da ração. Sob as mesmas condições de processamento, as proteínas irão desnaturar e formar géis (BRIGGS et al., 1999; CHEWNING; STARK; BRAKE, 2012; SANTOS, DOS et al., 2020)

A umidade pode ser um limitante da velocidade tanto na gelatinização do amido quanto na desnaturação da proteína. A adição de umidade suplementar antes da peletização demonstrou aumentar a qualidade do pelete. Moritz et al. (2003) relataram um aumento notável na gelatinização do amido quando a umidade suplementar foi incorporada em uma ração. E Hermansson (2010) relatou que as proteínas da soja ainda possuíam boas propriedades de ligação à água, apesar de serem parcial ou completamente desnaturadas. Essa propriedade de ligação à água pode não resultar em maior desnaturação da proteína, mas parece melhorar de alguma forma a qualidade do pelete. Talvez as interações entre os ingredientes sejam tão importantes quanto os ingredientes individuais.

Amido e proteína não são os únicos constituintes da ração que têm o potencial de afetar a qualidade do pelete. Para maximizar os lucros acumulados pelos produtores integrados, a grande maioria das rações para animais é formulada com base no menor custo. Maiores quantidades de inclusão de farinhas de subprodutos e fontes alternativas de grãos têm o potencial de afetar a qualidade do pelete. Por exemplo, a inclusão de grãos secos de destilaria com solúveis foi relatada de diminuir a qualidade do pelete (ABDOLLAHI et al., 2010; MASSUQUETTO, A. et al., 2018). Em contraste, a inclusão de trigo foi relatada para aumentar a qualidade do pelete. Há espaço para pesquisas visando explorar as interações que ocorrem entre os ingredientes da ração. É plausível que mudanças relativamente pequenas nas formulações da dieta tenham o potencial de alterar significativamente a qualidade do pelete.

## 2.7 EFEITOS DOS PELETES NO DESEMPENHO DE FRANGOS DE CORTE

A peletização é o processamento térmico mais amplamente utilizado em dietas de frangos de corte. Alguns benefícios da peletização incluem a redução da

segregação de ingredientes, facilidade de manuseio, melhor fluxo de ração no equipamento, e possibilita a redução do custo de formulação pela inclusão de ingredientes alternativos e diminuição da energia da dieta (CHEWNING; STARK; BRAKE, 2012; MASSUQUETTO, Andréia et al., 2019).

Estudos relatam que frangos de corte alimentados com dietas peletizadas têm melhor desempenho (ABDOLLAHI et al., 2010; CHEWNING; STARK; BRAKE, 2012; CORZO; MEJIA; LOAR, 2011; MASSUQUETTO, A. et al., 2018). Estes relatos podem ser atribuídos a um valor alimentar melhorado e/ou a uma necessidade de nutrientes reduzida pelo animal. Entre outros fatores, essa melhora na eficiência pode ser atribuída a uma maior digestibilidade de nutrientes e energia resultante da ação da temperatura, umidade e pressão durante o processo de condicionamento/peletização. Segundo Massuquetto (2019) as dietas peletizadas fornecidas aumentam a quantidade de gordura abdominal e não afetam a digestibilidade dos nutrientes. A restrição de consumo de ração resulta em menor ganho de peso (GP) e menor rendimento de carcaça, mas melhora a digestibilidade dos nutrientes em frangos de corte.

Em estudo realizado, Hamilton (1995), obteve desempenho de frangos de corte superior com a utilização de rações peletizadas em função principalmente de aumento do ganho de peso e melhora na conversão alimentar.

Porém, como existem múltiplos fatores que contribuem para o aumento do desempenho, é evidente que esse melhor desempenho de crescimento é devido a uma maior capacidade de ingestão de ração das dietas peletizadas, redução do gasto energético associado ao consumo de ração, aumento da energia produtiva por menor tempo gasto na alimentação maior digestibilidade dos nutrientes ou pela associação de todos esses fatores.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 FORMULAÇÕES**

A pesquisa foi realizada em uma unidade industrial produtora de ração da cidade de Garanhuns/PE. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos para cada formulação. O desenho foi baseado em um esquema fatorial 2x2 tendo os parâmetros duas temperaturas de peletização (70 e

76 °C) e duas pressões do vapor de condicionamento (1 e 2 bar). Foi determinado a influência da peletização nas características físico-químicas de três formulações.

As formulações foram produzidas em escala industrial para abastecimento da rede de integrados da empresa. As formulações 1, 2 e 3 são destinadas respectivamente para alimentação de frangos de corte nas fases inicial, de crescimento e de abate. O processo de peletização foi realizado em peletizadora Andritz FeedMax G7-25 com motor WEG de 350 CV com área de superfície de matriz de 5.500 cm<sup>2</sup>, taxa de compressão de 75 mm, distância entre os rolos de 2 mm e furos de 4 mm de diâmetro. A temperatura para cada tratamento foi regulada via TP100 localizado na saída do condicionador e tempo de retenção de condicionamento de 63 segundos, em condicionador Andritz CM para todos os tratamentos. Após a peletização, a ração passou pela etapa de secagem/resfriamento deixando-a com média de 8,3 °C acima da temperatura do ambiente. As Figuras 4 a 7 apresentam os equipamentos utilizados no processo de produção das rações.

Figura 4. Moinho de martelos utilizado no processo: (a) vista externa; (b) vista interna.



Figura 5. Visão interna do misturador.



Figura 6. Condicionador Andritz CM: (a) vista externa; (b) vista interna.

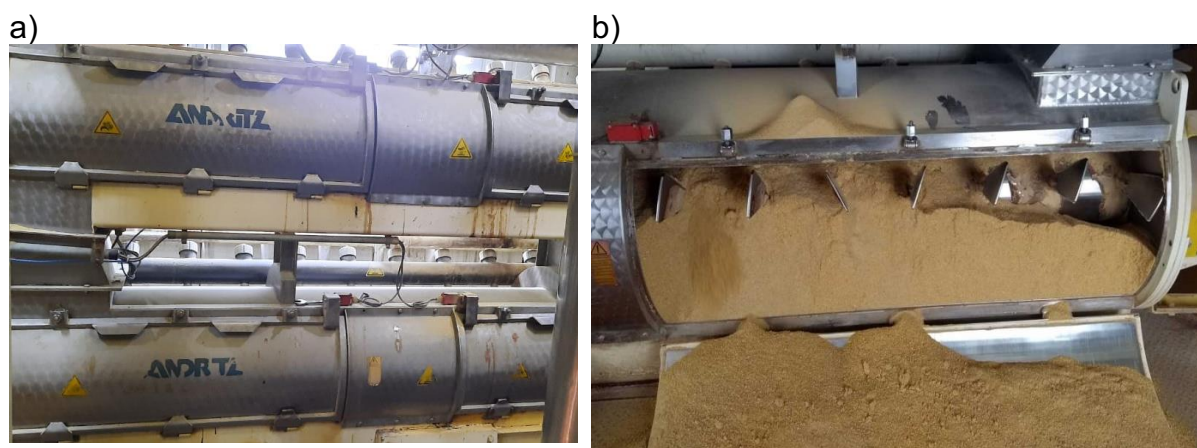


Figura 7. Peletizadora Andritz FeedMax G7-25: (a) vista externa; (b) vista interna.

a)

b)



As rações foram formuladas para atender as exigências nutricionais de frangos de corte de 1 a 43 dias (Tabela 1).

A mistura de vitaminas *Salus* utilizada para formulação 1 foi composta por: monóxido de manganês (23 g/kg), sulfato de zinco (23 g/kg), sulfato de ferro (16 g/kg), sulfato de cobre (38 g/kg), iodato de cálcio (500 mg/kg), selenito de sódio (100 mg/kg), vitamina A (3000000 UI/kg), vitamina B1 (666 mg/kg), vitamina B2 (1933 mg/kg), vitamina B3 (12 g/kg), vitamina B5 (4166 mg/kg), vitamina B6 (1000 mg/kg), vitamina B12 (4500 mcg/kg), vitamina D3 (916670 UI/kg), vitamina E (9333 UI/kg), vitamina K3 (833 mg/kg), ácido fólico (333 mg/kg), biotina (20 mg/kg), etoxiquim (22 g/kg), xilanase (366666 U/kg).

A mistura de vitaminas *Salus* utilizada para formulação 2 foi composta por: monóxido de manganês (23,33 g/kg), sulfato de zinco (23,33 g/kg), sulfato de ferro (16 g/kg), sulfato de cobre (38 g/kg), iodato de cálcio (500 mg/kg), selenito de sódio (100 mg/kg), vitamina A (3000000 UI/kg), vitamina B1 (666 mg/kg), vitamina B2 (1933 mg/kg), vitamina B3 (12 g/kg), vitamina B5 (4166 mg/kg), vitamina B6 (1000 mg/kg), vitamina B12 (4500 mcg/kg), vitamina D3 (9333 UI/kg), vitamina E (9333 UI/kg), vitamina K3 (833 mg/kg), ácido fólico (333 mg/kg), biotina (20 mg/kg), etoxiquim (22 g/kg), xilanase (366666 U/kg), ácido 3-nitro (14,66 g/kg), monensina sódica (40,33 g/kg).

A mistura de vitaminas *Salus* utilizada para formulação 3 foi composta por: monóxido de manganês (23 g/kg), sulfato de zinco (23 g/kg), sulfato de ferro (23g/kg), sulfato de cobre (16 g/kg), iodato de cálcio (38 g/kg), selenito de sódio (100 mg/kg), vitamina A (2000000 UI/kg), vitamina B1 (533 mg/kg), vitamina B2 (1333 mg/kg), vitamina B3 (10 g/kg), vitamina B5 (3666 mg/kg), vitamina B6 (700 mg/kg), vitamina B12 (2666 mcg/kg), vitamina D3 (666670 UI/kg), vitamina E (5000 UI/kg), vitamina K3



(533 mg/kg), ácido fólico (233 mg/kg), biotina (16 mg/kg), etoxiquim (22 g/kg), xilanase (366666 U/kg), monensina sódica (36,66 g/kg).

As coletas foram realizadas em produções iguais ou superiores a três bateladas de 5.000 kg cada, sendo a coleta das amostras realizadas sempre na terceira batelada a fim de garantir uniformidade e repetibilidade do processo.

Tabela 1. Formulação das rações analisadas.

Ingrediente	Formulação 1 (%)	Formulação 2 (%)	Formulação 3 (%)
Milho	60,23	65,82	67,60
Farelo de soja <sup>1</sup>	28,66	23,94	21,16
Farinha de carne <sup>2</sup>	5,33	5,07	4,69
Mistura de vitaminas <sup>3</sup>	2,87	2,28	2,22
Óleo de soja	2,30	2,32	3,70
Calcário	0,46	0,46	0,52
Antimicrobiano <sup>4</sup>	0,15	0,11	0,11

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

<sup>1</sup> Fornecedor: Bunge

<sup>2</sup> Fornecedor: Patense

<sup>3</sup> Fornecedor: Salus

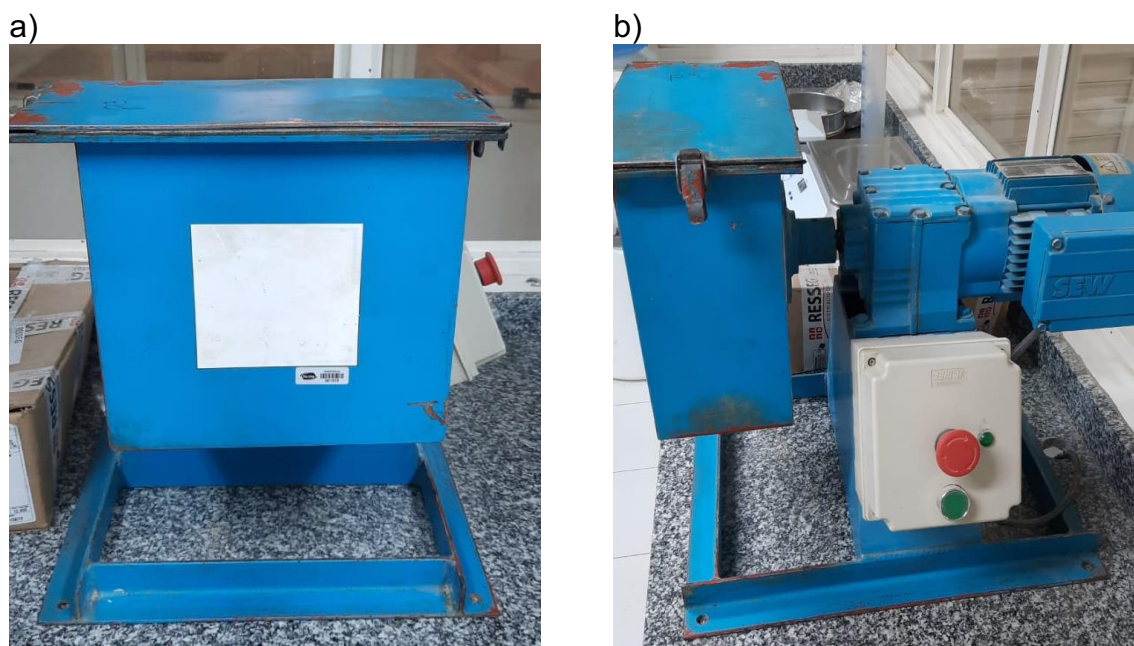
<sup>4</sup> Fornecedor: Pancosma, marca: Salmex.

## 3.2 ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

### 3.2.1 PDI e finos

Para mensuração do índice de durabilidade dos peletes (PDI), utilizou-se o método de Pfof (1996), no qual 500 g de peletes íntegros são acondicionados em uma caixa metálica com proporções de 13x25x25 cm (Figura 8) que rotaciona a 50 rpm por 10 minutos. O interior da caixa possui uma placa que força a alternância do fluxo de peletes durante a rotação. Após 10 minutos, o material é peneirado em peneira com furos de 3,0 mm de diâmetro. O percentual de peletes inteiros representa o PDI enquanto o percentual do material que passou na peneira representa os finos. Tais parâmetros podem ser calculados respectivamente pelas equações 1 e 2.

Figura 8. Equipamento utilizado para análise de PDI e percentual de finos: (a) vista frontal; (b) vista lateral



$$PDI = \frac{mf}{mi} * 100 \quad (1)$$

$$\text{percentual de finos} = \frac{mi - mf}{mi} * 100 \quad (2)$$

Nas quais  $mf$  representa a massa dos peletes íntegros após realização do teste e  $mi$  representa a massa dos peletes íntegros antes da realização do teste.

As análises de PDI e finos foram realizadas em triplicata sendo as amostras coletadas do mesmo lote de produção.

### 3.2.2 Umidade e cinzas

A determinação de umidade foi realizada pelo método gravimétrico utilizando estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 horas. Foi analisada a umidade da ração farelada (coletada antes de passar pelo condicionador), umidade da ração farelada (coletada após passar pelo condicionador e antes de ser peletizada), e umidade da ração peletizada. As cinzas foram determinadas na ração peletizada pelo método gravimétrico após a incineração da matéria orgânica em forno mufla a 550 °C. Umidade e cinzas foram realizadas em triplicata seguindo a metodologia do Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

As análises de umidade e cinzas foram realizadas em triplicata sendo as amostras coletadas do mesmo lote de produção.

### 3.2.3 Lipídeos e proteínas

A quantificação de lipídeos via Soxhlet e proteínas foram realizadas em duplicatas utilizando-se os métodos do Instituto Adolf Lutz (2008) e do Compêndio Brasileiro de Alimentação Animal (2017), respectivamente. Sendo realizadas no Laboratório de Análises do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (LABCAL/UFSC).

### 3.2.4 Granulometria

A granulometria foi analisada em triplicata em amostras de ração farelada coletadas do mesmo lote de produção antes de sua passagem pelo condicionador. Foi utilizado um conjunto de peneiras com abertura de malhas de: 4; 2; 1,20; 0,60; 0,30; 0,15 mm e fundo sobre o equipamento vibrador. A análise seguiu a metodologia descrita pela Embrapa (1996), sendo calculada a partir da equação 3.

$$DGM = 104,14 * 2^{\frac{R*Ki}{100}} \quad (3)$$

Na qual  $R$  representa a porcentagem de ração retida em cada peneira e  $Ki$  é uma constante que varia de 0 à 6.

### 3.2.5 Dureza

A dureza de pellets de ração animal foi medida usando um analisador de textura TA.HD.plus (Stable Micro Systems) conectado a um computador com o software Exponent. A dureza dos pellets produzidos foi medida usando um teste de compressão a 50% do diâmetro do pellet, suficiente para a amostra se romper em farelos. A força média para a fratura de 30 pellets de cada ração animal foi registrada como a dureza e relatada como força (kgf). Os pellets foram previamente selecionados por medidas de paquímetro para posterior análise de dureza. Um único pellet de 8,50



$\pm 0,20$  mm de comprimento e  $3,50 \pm 0,02$  mm de diâmetro foi posicionado horizontalmente em superfície plana sob a probe cilíndrica (diâmetro 36 mm) conectada a uma célula de carga de 50 kg. As velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram 10, 1 e 10 mm/s, respectivamente.

A análise de dureza foi realizada em triplicata sendo as amostras coletadas do mesmo lote de produção.

### 3.2.6 Atividade de água ( $a_w$ )

A  $a_w$  das rações foi analisada na ração farelada (antes de passar pelo condicionador), na ração farelada após passar pelo condicionador e na ração peletizada, em aparelho específico (Aqualab Series 4TE).

As análises de  $a_w$  foram realizadas em triplicata sendo as amostras coletadas do mesmo lote de produção.

### 3.2.7 Solubilidade proteica

A análise de solubilidade proteica foi realizada em triplicata com amostras coletadas do mesmo lote de produção. Foi executada no Laboratório de Termodinâmica e Tecnologia Supercrítica (LATTESC – UFSC) pelo método descrito por Araba (1990). 0,8g de ração foi colocada em um béquer de 250 ml e 40 ml de solução 0,2% KOH foi adicionada. A mistura foi então agitada por 20 minutos à 22 °C usando uma barra magnética com 3,6 cm de comprimento. Aproximadamente 30 ml da solução foi então coletada e centrifugada à 1250 rpm por 10 minutos. 15 ml do sobrenadante foi coletada e o conteúdo de nitrogênio foi determinado pelo método de Micro Kjeldahl (AOAC, 2006). Foi utilizado fator de correspondência nitrogênio-proteína de 6,25. A solubilidade proteica foi então calculada como o percentual do total de proteína presente na amostra.

### 3.2.8 Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A análise de calorimetria diferencial de varredura (DSC) foi realizada na Central de Análises do EQA – UFSC. As amostras foram fechadas em cápsulas de

alumínio e analisadas em DSC Perkin-Elmer, Jade (Massachusetts, USA) equipado com um sistema Intracooler 2P, previamente calibrado com Índio e Zinco, utilizando-se gás de arraste o nitrogênio (N<sub>2</sub>) e vazão de 20 mL/min. Os termogramas das amostras foram obtidos em uma faixa de temperatura de 10 a 100 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C/min. Os resultados foram analisados no software OriginPro 8.5®, onde mudanças de primeira ordem foram calculadas pela variação de entalpia utilizando-se a integração da área do pico, sendo marcadas as temperaturas de início, de pico e de fim.

### 3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICA

Os dados experimentais foram tratados estatisticamente utilizando o software Statistica 14.0, através de análise de variância (ANOVA). A comparação múltipla das médias foi realizada pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nos experimentos são apresentados na Tabela 2.

As rações formuladas apresentaram umidade em base úmida antes da etapa de condicionamento de 10,87% para a formulação 1, 10,92% para a formulação 2 e 10,96% para a formulação 3. Não havendo diferença significativa entre as umidades das diferentes formulações antes da etapa de condicionamento.

A média para o resultado de cinzas para as rações peletizadas foi 5.38% para formulação 1, 4.68% para formulação 2 e 5.60% para formulação 3. Não havendo diferença significativa após processo de produção com diferentes pressões e temperaturas analisadas.

A média para quantificação de proteína para as rações peletizadas foi 20.29% para formulação 1, 19.95% para formulação 2 e 18.61% para formulação 3. Para quantificação de lipídeos das rações peletizadas foi obtido média de 5.76% para formulação 1, 6.09% para formulação 2 e 6.18% para formulação 3.

Tabela 2. Influência da temperatura de condicionamento e pressão de condicionamento nos parâmetros de umidade, atividade de água, PDI, percentual de finos, solubilidade proteica e dureza.

P (bar)	T (°C)	Umidade DC (%)	Umidade pel (%)	aw DC	aw pel	Finos (%)	PDI (%)	Solubilidade proteica (%)	Dureza (kgf)
Formulação 1									
1	70	13,46±0,08 <sup>a</sup>	9,99±0,13 <sup>b</sup>	0,72±0,01 <sup>a</sup>	0,63±0,02 <sup>a</sup>	11,30±0,10 <sup>b</sup>	88,70±0,10 <sup>b</sup>	60,84±1,27 <sup>a</sup>	3,25±0,53 <sup>a</sup>
2	70	13,47±0,11 <sup>a</sup>	9,46±0,08 <sup>a</sup>	0,73±0,01 <sup>ab</sup>	0,63±0,01 <sup>a</sup>	12,17±0,29 <sup>c</sup>	87,83±0,29 <sup>c</sup>	60,11±2,54 <sup>a</sup>	3,32±0,54 <sup>a</sup>
1	76	15,08±0,12 <sup>b</sup>	11,36±0,12 <sup>c</sup>	0,74±0,00 <sup>b</sup>	0,63±0,01 <sup>a</sup>	6,90±0,36 <sup>a</sup>	93,10±0,36 <sup>a</sup>	60,11±1,27 <sup>a</sup>	3,65±0,63 <sup>b</sup>
2	76	15,07±0,17 <sup>b</sup>	11,50±0,04 <sup>c</sup>	0,76±0,01 <sup>c</sup>	0,64±0,01 <sup>a</sup>	6,80±0,10 <sup>a</sup>	93,20±0,10 <sup>a</sup>	61,58±2,20 <sup>a</sup>	3,67±0,67 <sup>b</sup>
Formulação 2									
1	70	13,42±0,13 <sup>a</sup>	10,04±0,13 <sup>a</sup>	0,75±0,01 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>a</sup>	10,20±0,20 <sup>b</sup>	89,80±0,20 <sup>b</sup>	61,86±4,67 <sup>a</sup>	3,59±0,57 <sup>a</sup>
2	70	13,39±0,16 <sup>a</sup>	9,96±0,33 <sup>a</sup>	0,75±0,01 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>a</sup>	10,67±0,23 <sup>c</sup>	89,33±0,23 <sup>c</sup>	62,63±0,00 <sup>a</sup>	3,57±0,68 <sup>a</sup>
1	76	15,15±0,05 <sup>b</sup>	11,36±0,17 <sup>b</sup>	0,76±0,01 <sup>a</sup>	0,65±0,01 <sup>a</sup>	4,77±0,15 <sup>a</sup>	95,23±0,15 <sup>a</sup>	61,89±1,29 <sup>a</sup>	3,79±0,65 <sup>b</sup>
2	76	14,96±0,08 <sup>b</sup>	11,15±0,14 <sup>b</sup>	0,76±0,01 <sup>a</sup>	0,65±0,01 <sup>a</sup>	5,20±0,20 <sup>a</sup>	94,80±0,20 <sup>a</sup>	59,65±1,29 <sup>a</sup>	3,74±0,57 <sup>b</sup>
Formulação 3									
1	70	13,13±0,13 <sup>a</sup>	9,74±0,34 <sup>a</sup>	0,75±0,02 <sup>a</sup>	0,63±0,01 <sup>a</sup>	14,80±0,20 <sup>b</sup>	85,20±0,20 <sup>c</sup>	66,34±1,38 <sup>a</sup>	3,22±0,74 <sup>a</sup>
2	70	13,10±0,07 <sup>a</sup>	10,28±0,21 <sup>a</sup>	0,74±0,01 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>ab</sup>	15,17±0,21 <sup>c</sup>	84,83±0,21 <sup>b</sup>	65,54±3,66 <sup>a</sup>	3,33±0,47 <sup>ab</sup>
1	76	14,86±0,06 <sup>b</sup>	11,39±0,28 <sup>b</sup>	0,75±0,01 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>ab</sup>	11,03±0,06 <sup>a</sup>	88,97±0,06 <sup>a</sup>	66,34±3,66 <sup>a</sup>	3,57±0,68 <sup>b</sup>
2	76	14,67±0,12 <sup>b</sup>	11,08±0,10 <sup>b</sup>	0,75±0,01 <sup>a</sup>	0,65±0,01 <sup>b</sup>	11,23±0,12 <sup>a</sup>	88,77±0,12 <sup>a</sup>	64,74±2,40 <sup>a</sup>	3,55±0,61 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup> Médias com letras distintas na mesma coluna para cada formulação indicam diferença significativa ( $p < 0,10$ ) entre os tratamentos pelo teste de Tukey. Elaborado pelo autor (2023).

P = pressão de condicionamento

T = temperatura de condicionamento

DC = amostra farelada após passar pelo condicionador e antes de peletizada

pel = amostra após ser peletizada

Durante o processo de peletização quanto mais uniforme as partículas dos componentes a serem misturados melhor será a mistura e formação do pelete. Quanto menor o diâmetro das partículas maior a superfície de contato. O que proporciona uma melhor ação do vapor e auxilia na gelatinização e solubilidade proteica. A digestão e absorção dos nutrientes pelo frango também é influenciada pelo menor tamanho das partículas dos alimentos devido a maior ação enzimática (ESMINGER, 1985; ANDRADE, 2016). Opalinski (2005) estudou o efeito da granulometria (653, 720 e 820  $\mu\text{m}$ ) em ração de frango de corte peletizada. Foi observado maior conversão alimentar em frangos alimentados com rações com granulometria de 720  $\mu\text{m}$  do que os alimentados com rações com 653  $\mu\text{m}$  de granulometria. Oliveira (2022) obteve melhores resultados de energia metabolizável em ração com granulometria de 850  $\mu\text{m}$  em comparação a 650  $\mu\text{m}$ , porém, com relação a digestibilidade de aminoácidos, melhores resultados foram encontrados na ração com granulometria de 650  $\mu\text{m}$ . No presente estudo, a média para o resultado de granulometria foi de 718,53  $\mu\text{m}$  para formulação 1, 720,07  $\mu\text{m}$  para formulação 2 e 720,47  $\mu\text{m}$  para formulação 3.

O aumento da  $a_w$  na ração peletizada pode ser um risco microbiológico. Uma alta  $a_w$  pode estimular o crescimento de microrganismos e reduzir o prazo de validade de uma ração. A  $a_w$  da ração peletizada não foi influenciada pelo aumento da pressão e temperatura de condicionamento nas formulações 1 e 2. Porém houve um leve aumento da  $a_w$  com o aumento da pressão e temperatura na formulação 3. O aumento da  $a_w$  pode ser explicado pelo maior fluxo de vapor em contato com as partículas da ração proporcionado pelo aumento da temperatura de condicionamento. Santos (2020) obteve  $a_w$  de 0,69 para ração peletizada a 65 °C e 0,70 para ração peletizada a 85 °C ambas com tempo de retenção no condicionador de 20 s mostrando também pouca variação na  $a_w$  com o aumento da temperatura de condicionamento. Teixeira Netto (2019) obteve 0,69 de  $a_w$  em ração peletizada a 70 °C e 0,72 de  $a_w$  em ração peletizada a 80 °C ambas com 15s de condicionamento. Para a ração farelada após passar pela etapa de condicionamento não houve diferença significativa com o aumento da temperatura e pressão para as formulações 2 e 3, porém para a formulação 1, o aumento da temperatura aumentou levemente a  $a_w$  das amostras. Observa-se que há redução entre a  $a_w$  da ração farelada após passar pelo condicionador e a  $a_w$  da ração peletizada. Isso é explicado pelo fato de a ração passar pela etapa de secagem/resfriamento após a peletização, o que proporciona a redução da umidade e temperatura da ração antes da mesma seguir para a etapa de

armazenamento. Ao reduzir a  $a_w$ , umidade e temperatura durante a etapa de secagem/resfriamento, a ração se torna mais estável tanto nas suas características física, por reduzir a probabilidade de quebra dos peletes, quanto microbiológicas.

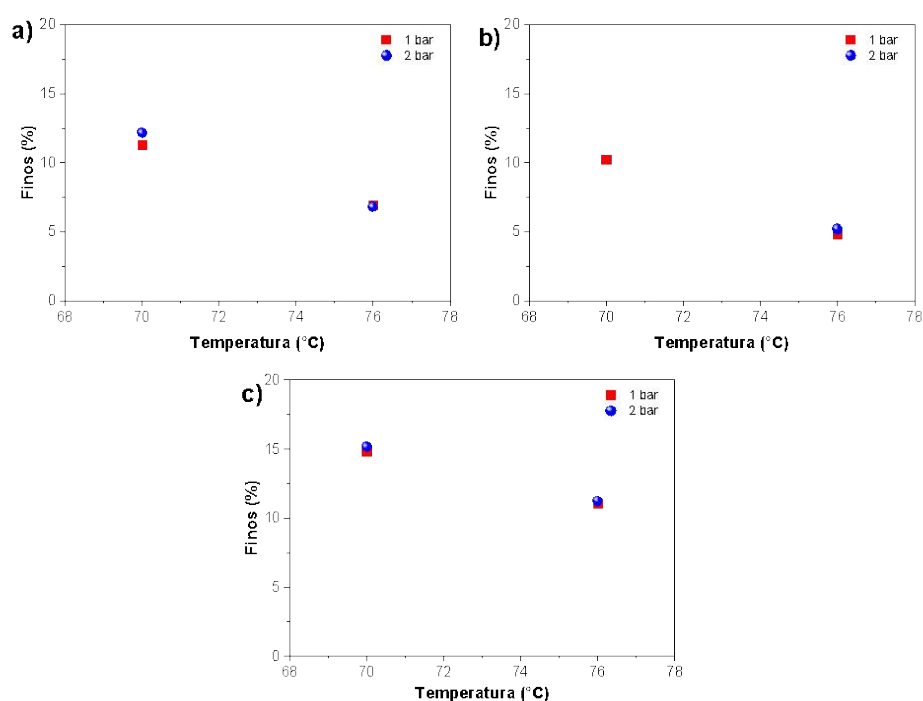
O aumento da temperatura de condicionamento do processo de peletização aumentou linearmente a umidade da ração tanto na etapa farelada, após passar pelo condicionador, quanto na ração peletizada. Isto ocorre devido a maior quantidade de fluxo de vapor no condicionador necessário para o aumento na temperatura de condicionamento. Cutlip (2008) e Teixeira Netto (2019) ao avaliarem o efeito da temperatura de condicionamento também observaram o aumento da umidade da ração com o aumento da temperatura de condicionamento. Skoch (1981) afirmou que a adição de umidade por meio do vapor melhora a qualidade da ração em função da diminuição da proporção de finos e aumento da durabilidade dos peletes. O vapor adicional devido ao aumento da temperatura tem capacidade aglutinante entre as partículas que formarão o pelete. Fahrenholz (2012) observou que há relação diretamente proporcional entre a umidade da ração e o índice de durabilidade do pelete. Já a variação da pressão utilizada no trabalho não se mostrou significativamente influente na umidade para os experimentos realizados nesta pesquisa. O aumento da pressão de condicionamento teve influência significativa apenas na ração peletizada com formulação 1, onde o aumento da pressão reduziu levemente a umidade da ração peletizada para 9,46%.

Foi evidenciado a melhora na qualidade do pelete com o aumento da temperatura de condicionamento durante a peletização. Todas as formulações tiveram melhora significativa nos índices de percentual de finos e PDI. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2020) ao avaliar o efeito da temperatura de condicionamento e tempo de retenção na qualidade do pelete, e por Teixeira Netto (2019) ao avaliar o efeito da temperatura de condicionamento na qualidade do pelete. Abdollahi (2011) em estudo em que avaliou a influência da forma da ração e da temperatura de condicionamento na performance de frangos de corte e Cutlip (2008) ao verificar o efeito de variações no condicionamento na qualidade do pelete e crescimento de frangos de corte também verificaram a melhora na durabilidade do pelete com o aumento da temperatura de condicionamento. Fica evidente então que o aumento na temperatura de condicionamento durante a peletização melhora a qualidade do pelete devido a maior aderência entre os componentes dos peletes conferido pela maior injeção de vapor durante o condicionamento. As figuras 9 e 10

apresentam o comportamento de parâmetros como percentual de finos e PDI com nas diferentes pressões e temperaturas estudadas.

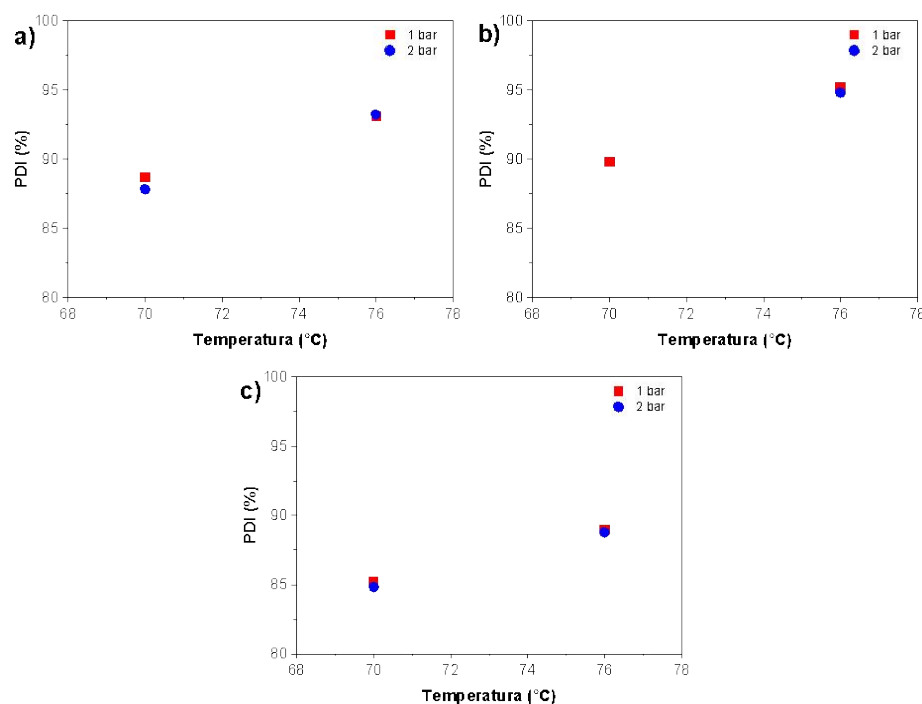
Os dados de dureza (Tabela 2) apresentam distribuição normal. Como esperado, foi observado um comportamento análogo ao PDI. O aumento da temperatura de condicionamento incrementou positivamente a dureza do pelete. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira Netto (2019), Abdollahi (2011) e Fahrenholz (2012).

Figura 9. Percentual de finos das rações de frango de corte utilizando: (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3 condicionadas em diferentes temperaturas e pressões.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Figura 10; PDI das rações de frango de corte utilizando: (a) Formulação 1; (b) Formulação 2 e (c) Formulação 3 condicionadas em diferentes temperaturas e pressões.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

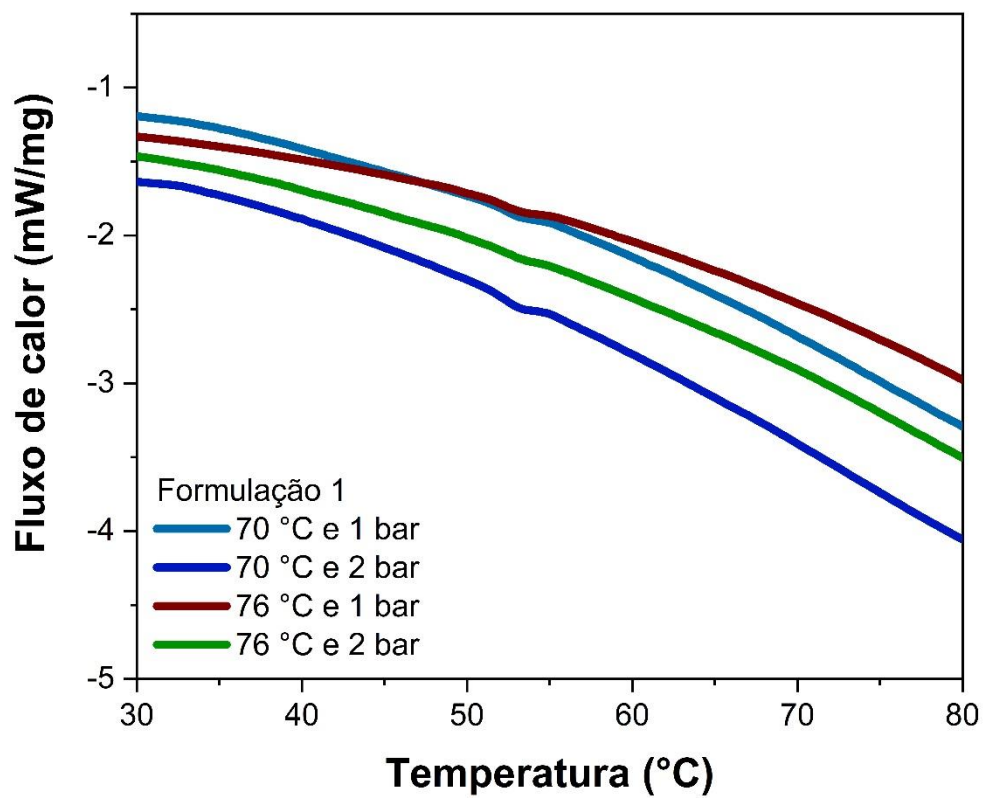
A gelatinização do amido é importante por formar ligações entre as partículas e influenciar diretamente na durabilidade de peletes. O principal contribuinte para a gelatinização do amido é o vapor. Aumentando-se temperatura e pressão do vapor durante a etapa de condicionamento aumenta-se o grau de gelatinização do amido devido a maior absorção de umidade e dilatação da partícula do amido.

A gelatinização do amido é medida a partir do pico endotérmico resultante da transição de fase do material. A variação de entalpia ( $\Delta H$ ) é sinalizada pela perda da organização molecular devido à quebra de ligações de hidrogênio dentro do grânulo, este parâmetro é considerado um indicador da quantidade da estrutura cristalina do amido (EK, 2012).

Os termogramas de DSC para as amostras são apresentadas nas figuras 9 a 11. Para a formulação 2 e 3 não foram realizados termogramas para as combinações de parâmetros 70 °C / 2 bar, 76 °C / 2 bar e 76 °C / 2 bar, pois foi observado que o amido foi completamente gelatinizado desde os parâmetros de pressão e temperatura mais brandos (70 °C / 2 bar) assim como ocorreu com a formulação 1.

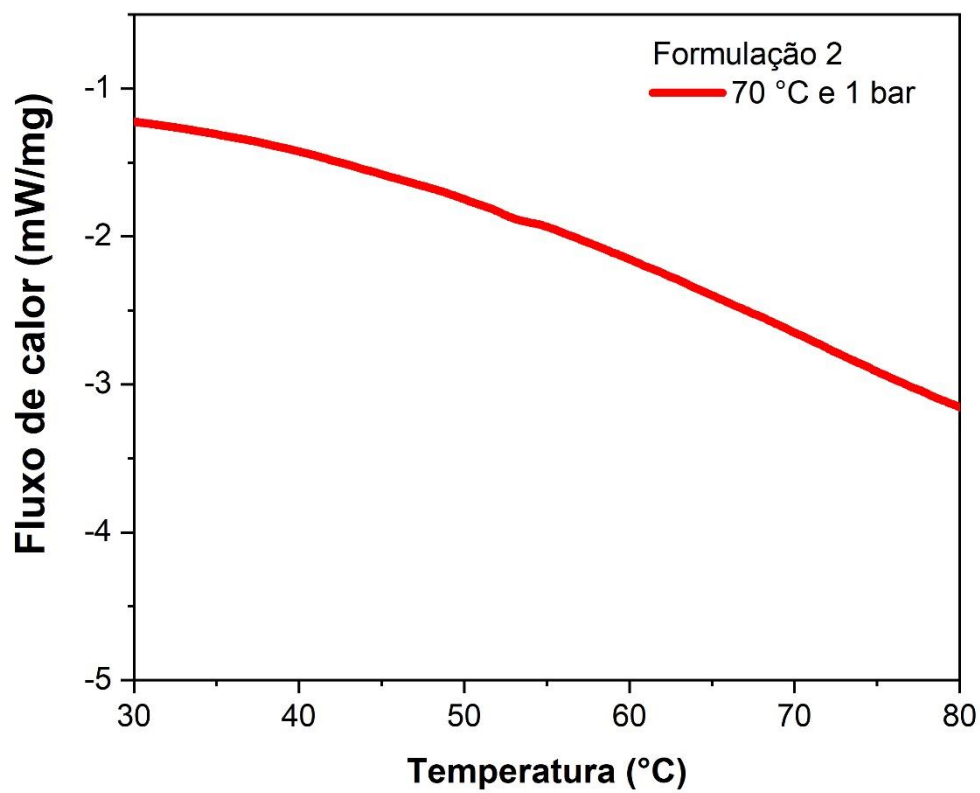


Figura 11. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 1.



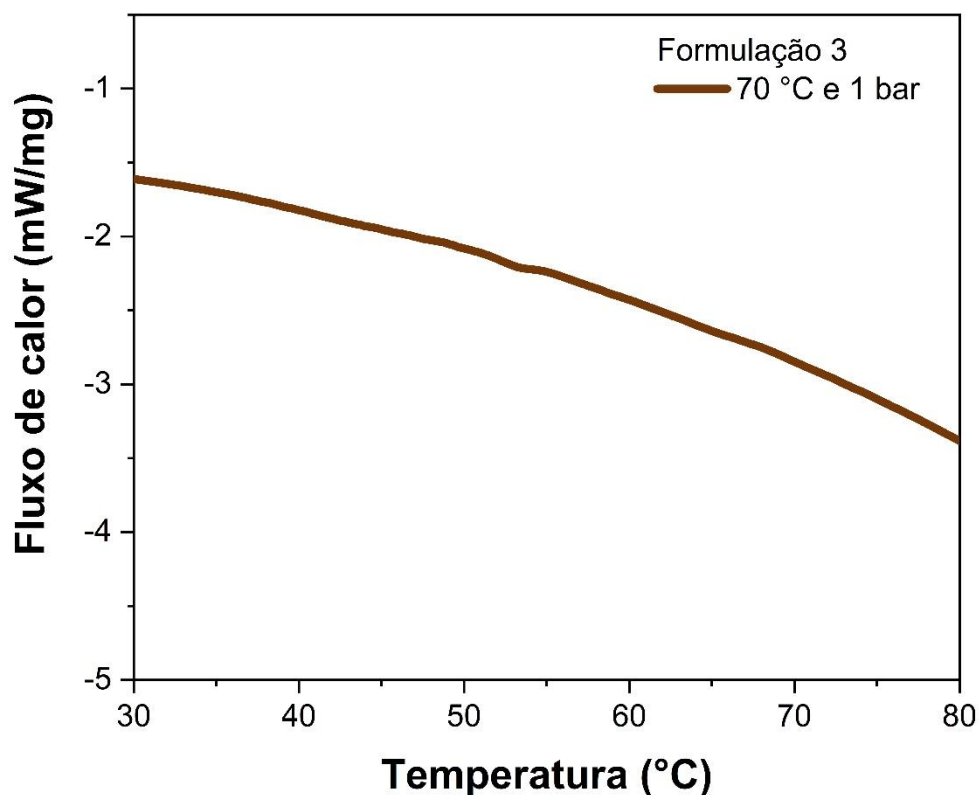
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 12. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 2.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 13. Termograma de calorimetria diferencial de varredura para as amostras produzidas com a formulação 3.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A literatura mostra que o aumento da temperatura de condicionamento tende a levar a um aumento no grau de gelatinização do amido. Em estudo realizado por Lewis (2015) em ração peletizada de suíno foi observado que o aumento no tempo de condicionamento e na temperatura de gelatinização estão ligados a um aumento no grau de gelatinização do amido. Ao estudar a gelatinização do amido em ração peletizada de frango Muramatsu (2014) verificou que a ração produzida por extrusora à uma temperatura de 110 °C teve maior grau de gelatinização do que ração produzida por peletizadora à 80 °C. Abdollahi (2011) observou aumento na gelatinização do amido ao aumentar a temperatura de condicionamento de 75 °C para 90 °C em ração peletizada com etapa de condicionamento com 30s de duração.

Li (2013) ao realizar análise DSC em tratamento com isolado de proteína de soja e amido de milho verificou que a gelatinização do amido de milho ocorre à temperatura de 69,01 °C para o tratamento com apenas amido de milho. A temperatura de gelatinização aumenta à medida que é aumentado o percentual de

isolado de proteína de soja na composição da amostra analisada, chegando à temperatura de gelatinização de 76,31 °C para amostra com 25% de amido de milho e 75% de isolado de proteína de soja.

No presente estudo não foi observado nenhuma mudança endotérmica durante a análise de DSC, indicando que o amido presente nas amostras foi completamente gelatinizado. Assim, entende-se que devido ao bom tempo de condicionamento utilizado no processo (63 s) alinhado com o tratamento térmico de ambas temperaturas e pressões utilizadas durante a etapa de condicionamento foram suficientes para gelatinizar o amido presente mesmo nas condições de temperatura e pressão mais baixas. A análise de gelatinização do amido foi realizada apenas para o tratamento com temperatura de 70 °C e 1,00 bar para as formulações 2 e 3. Foi entendido que o comportamento de tais formulações seria semelhante ao obtido na formulação 1 onde foram analisados todos os tratamentos.

Para a solubilidade proteica, não foi observado variação significativa para as três formulações estudadas ao serem submetidas as diferentes pressões e temperaturas do estudo. Verifica-se que a solubilidade proteica só é alterada quando são utilizados processos com tratamentos térmicos mais intensos como o de expansão utilizado por Muramatsu (2016).

Poucos estudos foram realizados para verificar o comportamento da solubilidade proteica durante o processo de peletização de rações. Em estudo realizado, Teixeira Netto (2019) não obteve aumento na solubilidade proteica ao aumentar a temperatura de condicionamento de ração peletizada para frango de 50 °C (64,76%) para 70 °C (63,72%). Muramatsu (2016) em sua pesquisa sobre o efeito do processamento térmico, taxa de produção e a distância entre os rolos e a matriz da peletizadora obteve maior percentual de solubilidade proteica em ração peletizada sem passar pelo processo de expansão. 77,3% de solubilidade proteica para ração peletizada sem o processo de expansão contra 70,0% de solubilidade com o processo de expansão, onde houve uma etapa adicional onde a torta condicionada passou por um expensor a 110°C por 5s. A ração que passou pelo expensor gerou, porém, uma ração com 4% a mais de gelatinização do amido comparada com a ração que não passou pelo processo.

Foi desenvolvido um modelo estatístico para cada formulação a fim de prever a influência dos parâmetros pressão e temperatura no percentual de PDI da ração peletizada. O modelo para prever o PDI a partir das características do

processo de fabricação e para a ração de formulação 1 (Tabela 3) incluiu 3 fatores preditores, todos significativos ( $p < 0,10$ ).

Tabela 3. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 1.

Termos	Equação		P
	Coefficiente	EP	
Constante	49,51	5,369	0,000
Pressão (Bar)	-12,14	3,396	0,007
Temperatura (°C)	0,57	0,073	0,000
Pressão x Temperatura	0,16	0,046	0,008

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

O modelo para prever o PDI a partir das características do processo de fabricação e para a ração de formulação 2 (Tabela 4) incluiu 2 fatores preditores. Pressão e temperatura foram fatores significativos ( $p < 0,10$ ).

Tabela 4. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 2.

Termos	Equação		P
	Coefficiente	EP	
Constante	27,27	4,400	0,000
Pressão (Bar)	-0,86	2,783	0,766
Temperatura (°C)	0,90	0,060	0,000
Pressão x Temperatura	0,01	0,038	0,888

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

O modelo para prever o PDI a partir das características do processo de fabricação e para a ração de formulação 3 (Tabela 5) incluiu 2 fatores preditores. Pressão e temperatura foram fatores significativos ( $p < 0,10$ ).

Tabela 5. Modelo para prever o PDI com base nas características do processo de condicionamento baseado no processo de peletização da ração de formulação 3.

Termos	Equação		P
	Coefficiente	EP	
Constante	43,57	3,515	0,000
Pressão (Bar)	-2,31	2,223	0,015
Temperatura (°C)	0,60	0,048	0,000
Pressão x Temperatura	0,03	0,030	0,388

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

No geral, as rações produzidas com as formulações 1 e 2 obtiveram os melhores resultados de percentual de finos e PDI. Este resultado se explica principalmente devido ao fato de as rações serem formuladas com baixos percentual de óleo (2,30% e 2,32%). O alto percentual de gordura na formulação interfere na qualidade dos peletes podendo formar peletes frágeis. A gordura lubrifica a parede dos furos da matriz facilitando a passagem da ração e diminuindo a compactação da ração na prensa. A gordura adicionada na ração antes do condicionamento também provoca o encapsulamento das partículas da ração reduzindo a penetração do vapor e conseqüentemente a gelatinização do amido e atuação das forças capilares de adesão (FAHRENHOLZ, 2012; SCHROEDER, 2020). A presença de amido na ração é importante na durabilidade do pelete devido a sua gelatinização. O vapor utilizado durante o condicionamento rompe a estrutura do amido causando a sua gelatinização. Tal gelatinização é importante para a formação de ligações entre as partículas da ração formando peletes mais duráveis (RONAN, 2020; TEIXEIRA NETTO, 2019; MURAMATSU, 2016).

## 5 CONCLUSÃO

O aumento da temperatura de condicionamento mostrou-se eficiente na melhora de índices importantes para a qualidade da ração como PDI, dureza e percentual de finos. O aumento da temperatura de condicionamento também aumentou a umidade da ração peletizada, sendo um fator de atenção para evitar que a ração final apresente desenvolvimento microbiológico. Alterações na  $a_w$  foram

observadas apenas na formulação 3, onde o aumento da pressão e temperatura influenciaram levemente. Para a solubilidade proteica não foram encontradas diferenças significativas entre os diferentes tratamentos indicando que para ser obtido variação significativa para a solubilidade proteica devem ser utilizados processos com tratamento térmico mais intenso. A completa gelatinização do amido pode ser explicada devido ao bom tempo de condicionamento utilizado no processo (63 s) sendo suficiente para gelatinizar o amido presente mesmo nas condições de temperatura e pressão mais baixas. A variação da pressão apresentou leve influência no PDI e percentual de finos para rações condicionadas com temperatura de 70 °C. As rações produzidas com as formulações 1 e 2 obtiveram os melhores resultados de percentual de finos e PDI devido principalmente ao fato de serem formuladas com um baixo percentual de óleo. Os resultados obtidos no presente estudo mostram que o processo de peletização tem ganhos na qualidade do pelete com o aumento da temperatura de condicionamento, ou seja, provavelmente influencia diretamente no desempenho de produção de frangos de corte.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOLLAHI, M. R. *et al.* Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed maize- and sorghum-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v. 162, n. 3–4, p. 106–115, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.08.017>>.

ABDOLLAHI, M. R.; R. VINDRAN, V.; WESTER, T. J.; RAVINDRA, G.; THOMAS, D. V. Effect of improved pellet quality from the addition of a pellet binder and/or moisture to a wheat-based diet conditioned at two different temperatures on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broilers. **Animal Feed Science and Technology**. 175, 150-157, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.05.001>>.

ANDRADE, E. C. *et al.* Efeitos da granulometria e da forma física da ração sobre o desempenho de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, n.02, p. 483- 488. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4162-8496>>.

AOAC. Official Methods of Analysis. Association of official Analytical Chemists. 2006.

ARABA, M.; DALE, N. M. Evaluation of protein solubility as an indicator of underprocessing of soybean meal. **Poultry Science**, 69, 1749-1752. 1990. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps.0691749>>.

BEHNKE, Keith C. Factors influencing pellet quality. **Feed Tech**, v. 5, n. 4, p. 19-22, 2001.

BOLTZ T.P.; WARD N.E.; AYRES V.E.; LAMP A.E.; MORITZ J.S.; The effect of varying steam conditioning temperature and time on pellet manufacture variables, true amino acid digestibility, and feed enzyme recovery. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 29, n. 2, p. 328-338. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.japr.2019.11.007>>.

BONEY J. W., The effects of *Spirulina algae* inclusion and conditioning temperature on feed manufacture, pellet quality, and true amino acid digestibility. **Animal Feed Science and Technology**, V. 224, 20-29. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.11.008>>.

BRIGGS, J. L. *et al.* Effect of ingredients and processing parameters on pellet quality. **Poultry Science**. v. 78, n. 10, p. 1464–1471, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ps/78.10.1464>>.

Camire, M.E.; Camire, A.; Krumhar, K. Chemical and nutritional changes in food during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 29, p. 35–57. 1990. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408399009527513>.

CHEWNING, C. G.; STARK, C. R.; BRAKE, J. Effects of particle size and feed form on broiler performance. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 21, n. 4, p. 830–837. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/japr.2012-00553>>.

COLOVIC, R.; VUKMIROVIC, D.; MATULAITIS, R.; BLIZNIKAS, S.; UCHOCKIS, V.; JUSKIENE, V.; LEVIC., J. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. **Food and Feed Research**, v. 33, p. 1089-10108. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21608/mjae.2016.97795>>.

COMPÊNDIO BRASILEIRO DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL 2017. **Guia de Métodos Analíticos**. 2017.

CORZO, A.; MEJIA, L.; LOAR, I. E. Effect of pellet quality on various broiler production parameters. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 20, n. 1, p. 68–74. 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/japr.2010-00229>>.



CRESWELL, D.; BEDFORD, M. High pelleting temperatures reduce broiler performance. **Australian Poultry Science**, Sydney, v. 18, n. 1, p. 1-6, 2006.

CUTLIP, S. E.; HOTT, J. M.; BUCHANAN, N. P.; RACK, A. L.; LATSHAW, J. D.; MORITZ, J. S. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. **Journal Applied of Poultry Research**, v. 17, p. 249-261. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/japr.2007-00081>>.

EK, K. L.; BRAND-MILLER, J.; COPELAND, L. Glycemic effect of potatoes. **Food Chemistry**, v. 133, n. 4, p. 1230–1240. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.004>>.

ESMINGER, M.E. Processing effects on nutrition. Feed Manufacturing Technology III. **American Feed Industry Association**. 1985.

FAHRENHOLZ, A. C. Evaluating factors affecting pellet durability and energy consumption in a pilot feed mill and comparing methods for evaluating pellet durability. 2012. 104 f. Thesis - Department of Grain Science and Industry College of Agriculture, **Kansas University**, Manhattan, Kansas, 2012.

FAIRFIELD, D. A. Pelleting for Profit - Feed and Feeding Digest. **National Grain and Feed Association Part 1**, v. 54, n. 6, 2003.

FALK, D. Feed Manufacturing Technology III. **American Feed Industry Association**. 1985.

FERRAZ. Fluxograma de produção de ração. 2022. Disponível em: <<https://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/fluxograma-de-producao-de-racao-fareladapeletizada.html>>. Acesso em março de 2023.

FROETSCHNER, J. Conditioning controls pellet quality. **Feed Technology**, v. 10, n. 6, p. 12-15, 2006.

GILPIN A.S., HERRMAN T.J., BEHNKE K.C., FAIRCHILD F.J. Feed moisture, retention time, and steam as quality and energy utilization determinants in the pelleting process. **App. Eng. in Ag.** v.18 (2002), p. 331-338. 2002. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.13031/2013.8585> >

HAMILTON, R.M.G.; Proudfoot, F.G. Ingredient particle size and feed texture: effects on the performance of broiler chickens. **Animal Feed Science and Technology**, v. 51. p. 203-210, 1995.

HERMANNSON, A. M. Methods of studying functional characteristics of vegetable proteins. **J. Am. Oil Chem**, v. 56, p. 272–279. 2010. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00696-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00696-7)>.

HUANG, X.; CHRISTENSEN, C.; YU, P. Effects of conditioning temperature and time during the pelleting process on feed molecular structure, pellet durability index, and metabolic features of co-products from bio-oil processing in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 7, p. 4869–4881. 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9290>>.

IBGE - **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA**. Estatística da Produção Pecuária - out.-dez. 2021. Disponível em: <[https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_202104caderno.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202104caderno.pdf)>. Acesso em 21 mar. 2023.

IFIF - **INTERNATIONAL FEED INDUSTRY FEDERATION**. Global feed statistics 2020. Disponível em: <<https://ifif.org/global-feed/statistics/>>. Acesso em: 21 mar. 2023.

JAFARNEJAD, S. *et al.* Effect of crumble-pellet and mash diets with different levels of dietary protein and energy on the performance of broilers at the end of the third week. **Veterinary Medicine International**, 2010. Disponível em: <10.4061/2010/328123 (doi.org)>.

KULIG, R., LASKOWSKI, J. Effect of conditioning parameters on pellet temperature and energy consumption in the process of plant material pressing. **TEKA Kom. Mot. Energ. Roln.**, v. 8, p. 105–111, 2008.

LARA, L. J. C. *et al.* Influência da forma física da ração e da linhagem sobre o desempenho e rendimento de cortes de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 4, p. 970-978. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000400028>>.

LEWIS, L. L.; STARK, C. R.; FAHRENHOLZ, A. C.; BERGSTROM, J. R.; JONES, C. K. Evaluation of conditioning time and temperature on gelatinized starch and vitamin retention in a pelleted swine diet. **American Society of Animal Science**, v. 93, p. 615-619. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.2527/jas.2014-8074>>.

LOAR II, R. E., *et al.* Effects of varying conditioning temperature and mixer-added fat on feed manufacturing efficiency, 28 to 42 day broiler performance, early skeletal effect, and true amino acid digestibility. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 23, n.3, p 444-455. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/japr.2013-00930>>.

LOWE, R. Judging pellet stability as part of pellet quality. **Feed Technology**, v. 9, n. 2, p. 15-19, 2005.

MASSUQUETTO, A. *et al.* Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 27, p. 51–58. 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3382/japr/pfx039>>.

MASSUQUETTO, Andréia *et al.* Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance, carcass yield, and nutrient digestibility in broiler chickens. **Poultry Science**, v. 98, n. 11, p. 5497–5503. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/ps/pez176>>.

MIRANDA D. J. A. Efeito da granulometria do milho e do valor de energia metabolizável em rações peletizadas para frango de corte. 2011. 91 f. Dissertação - Escola de Veterinária, **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2011.

MORITZ, J. S., WILSON, K. J., CRAMER, K. R., BEYER, R. S., MCKINNEY, L. J., CAVALCANTI, W. B., MO, X. Effect of Formulation Density, Moisture, and Surfactant on Feed Manufacturing, Pellet Quality, and Broiler Performance. **J. Appl. Poult. Res.**, v. 11, p. 155–163. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/japr/11.2.155>>.

MORITZ, J.S., CRAMER, K.R., WILSON, K.J., BEYER, R.S. Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. **J. Appl. Poult. Res.**, v. 12, p. 371–381. 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/japr/12.3.371>>.

MURAMATSU, K. Aplicação de modelagem preditiva no processo de peletização de rações para frangos de corte. 2013. 99 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba. 2013.

MURAMATSU, K.; MAIORKA, P.; DAHLKE, F.; LOPES, A. S.; PASCHE, M. Impact of particle size, thermal processing, fat inclusion, and moisture addition on starch gelatinization of broiler feeds. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 16, n. 4, p. 367-374. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1516-635x1604367-374>>.

MURAMATSU, K.; VACCARI, I. C. M.; MINAFRA, C. S.; SENS, R. F.; DAHLKE, F.; MAIORKA, A. Effect of thermal processing, press throughput and roller-die gap on physicochemical Properties of broiler feed pellets. **Journal of Agricultural Science and Technology**. v. 6, p. 99-108. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.17265/2161-6256/2016.02.003>>.

NETTO, T. V. M. Temperatura de condicionamento no processo de peletização de dietas para frangos de corte. 2014. 56 f. Dissertação (Mestrado) - **Universidade Federal do Paraná**, Curitiba. 2014.

NIR, I.; TWINA, Y.; GROSSMAN, E.; NITSAN, Z. Quantitative effects of pelleting on performance gastrointestinal tract and behavior of meat-type chickens. **British Poultry Science**, v. 35. p. 589-602. 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00071669408417724>>.

NOBLE, D. O. S., MCKINNEY, L. J., TEETER, R. G. Predicting Effective Caloric Value of Nonnutritive Factors: III. Feed Form Affects Broiler Performance by Modifying Behavior Patterns. **Poultry Science**, v. 84. p. 403–411. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/ps/84.3.403>>.

Opalinski, M., Cunha, F., Bueno, F., Dahlke, F., Maiorka, A. Granulometria e forma física de rações pré-iniciais para frangos de corte e seus efeitos no desempenho e dinâmica gastrintestinal. **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Anais**, Goiânia. 2005.

Oliveira, LMS et al. Effect of Moisture, Particle Size and Thermal Processing of Feeds on Broiler Production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 24, n. 4, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9061-2020-1391>>.

PAHM A.A., PEDERSEN C., HOEHLER D., AND STEIN H.H. Factors affecting the variability in ileal amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. **J. Anim. Sci.**, v. 86, p. 2180–2189. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.2527/jas.2008-0868>>.

PARSONS, A.S.; BUCHANAN, N.P.; BLEMINGS, K.P.; WILSON, M.E.; MORITZ, J.S. Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 15. p. 245-255. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/japr/15.2.245>>.

PUCCI, L. E. A. et al. Forma física, suplementação enzimática e nível nutricional de rações para frangos de corte na fase inicial: desempenho e digestibilidade dos nutrientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 6, p. 1272-1279. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000600016>>.

Robinson, R. Pelleting—Introduction and general definitions. **Feed Manufacturing Technology**. American Feed Manufacturers Association, p. 103–110, 1976.

SANTOS, R. O. F. *et al.* Effect of conditioning temperature and retention time on pellet quality, ileal digestibility, and growth performance of broiler chickens. **Livestock Science**, v. 240, p. 104-110. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104110>>.

SCHOROIJEN, H. Correct conditioning assures proficient pelleting. **Feed Tech.** v. 9, n. 5. 2005

SCHROEDER, Bruna. Aplicabilidade na modelagem matemática para compreender e melhorar o processo de peletização de rações para frangos de corte e suínos. TESE - **Universidade Federal do Paraná**. 2013.

SCHROEDER, Bruna. Modelagem empírica da qualidade dos peletes de rações para frangos de corte e suínos. Dissertação - **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. 2019.

SCHROEDER, S; ANDRETTA, I; KIPPER, M. Aplicabilidade na modelagem matemática para compreender e melhorar o processo de peletização de rações para frangos de corte e suínos. **Zootecnia: Nutrição e Produção Animal**, v. 1, p. 27 - 41. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.37885/200901207> (doi.org)>.

SCOTT, T. A.; SWIFT, M. L.; BEDFORD, M. R. The influence of feed milling, enzyme supplementation, and nutrient regimen on broiler chick performance. **Journal Applied of Poultry Research**, Champaign, v. 6, p. 391-398, 1997. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/japr/6.4.391>>.

SHAHBANDEH, M., 2022. Poultry: Number of chickens worldwide from 1990 to 2018. **Statista**. Disponível em <https://www.statista.com/statistics/263962/number-of-chickens-worldwide-since-1990>. Acesso em 12 mar 2023.

SINDIRAÇÕES. **Sindicato Nacional da Indústria de Alimentação Animal**. Boletim Informativo do Setor – Agosto/2021. Disponível em: <[https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2021/08/boletim\\_informativo\\_do\\_setor\\_agosto\\_2021\\_vs\\_final\\_port\\_sindiracoes.pdf](https://sindiracoes.org.br/wp-content/uploads/2021/08/boletim_informativo_do_setor_agosto_2021_vs_final_port_sindiracoes.pdf)> Acesso em: 21 mar. 2023.

SKOCH, E.; BEHNKE, R. K.; DEVOE, C.; BINDER, C. W. S. F. The effect of steamconditioning rate on the pelleting process. **Animal Feed Science Technology**, v. 6, p. 83, 1981.

SMALLMAN, C. Maximising conditioning potential. **Feed Milling International**, v. 190, n.11, p 15-16, 1996.

SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 122, p. 303-320. 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025>>.

Teixeira Netto, M.V., Massuquetto, A., Krabbe, E.L., Surek, D., Oliveira S.G., Maiorka, A. Effect of Conditioning Temperature on Pellet Quality, Diet Digestibility, and Broiler Performance. **Journal of Applied Poultry Research**. 28, 4, 963-973. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3382/japr/pfz056>>.

THOMAS, M., ZUILICHEM, D.J., VAN DER POEL, A.F.B., Physical quality of pelleted animal feed. 2. contribution of processes and its conditions. **Anim. Feed. Sci. and Technol.** v. 64, p. 173-192. 1997.

THOMAS, M.; VAN DER POEL, A. F. B. Physical quality of pellet animal feed. Criteria for pellet quality. In: PHYSICAL QUALITY OF PELLET ANIMAL FEED: A FEED MODEL STUDY, **Wageningen Proceedings**. Wageningen: WUR, 1998. p. 19-46. 1998.

Voragen, A.G.J., Gruppen, H., Marsman, G.J.P., Mul, A.J. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. **Recent Advances in Animal Nutrition**. p. 93-126. 1995.

ZANOTTO, D. L.; GUIDONI, A. L.; BRUM, P. R. Granulometria do milho em rações fareladas para frangos de corte. **Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. 1999.

ZANOTTO, D.L.; MONTICELLI, C.J. Granulometria do milho em rações para suínos e aves: digestibilidade de nutrientes e desempenho animal. In: **Simpósio Sobre Granulometria de Ingredientes e Rações para Suínos e Aves**. 1998.

ZIGGERS, D. Die determines the pellet production. **Feed Tech**, v. 7. 2003.